محركات الاحتراق الداخلى

Internal Combustion Engines

دكـــتور

السعيد رمضان العشرى

قسم الهندسة الزراعية

كلية الزراعة . جامعة الإسكندرية

2003

الناشـــر

مكتبة بستان المعرفة

لطبع ونشر وتوزيع الكتب

كفر الدوار – الحدائق ☎: 045/224228

اسم الكتاب: محركات الاحتراق الداخلى
اسم المؤلف: د/ السعيد رمضان العشرى
رقم الإيداع بدار الكتب والوثائق المصرية:٣٥٩٨ /٢٠٠٢
الترقيم الدولى: I.S.B.N. 977 - 6015- 37 -9
الطبعة: الأولى
الناشر: بستان المعرفة
كفر الدوار ــ الحدائق ــ ٦٧ ش الحدائق بجوار نقابة التطبيقيين
تليفون: ٠٤٥/٢٢٤٢٢٨ & ٠١٢٣٥٣٤٨١٤

جميع حقوق الطبع محفوظة للناشر
ولا يجوز طبع أو نشر او تصوير او إنتاج هذا المصنف أو أى جزء منه باية صورة من الصور بدون تصريح كتابى مسبق من الناشر.

إهداء

إلى والدى ووالدتى رحمهما الله واسكنهما فسيح جناته

إلى زوجتى الفاضلة

إلى أبنائى..خالد .. طارق ..سامح.

إلى كل من عاوننى على اخراج هذا العمل

دكتور/ السعيد رمضان العشرى

مقدمة

لقد حرصت الدولة في السنوات الأخيرة على نقل واستخدام التكنولوجيا الحديثة، كما اهتمت أيضاً بإنشاء الكليات والمعاهد الفنية لإعداد الكوادر الفنية وتحتاج هذه الكليات والمعاهد الفنية لإعداد الكوادر الفنية وتحتاج هذه الكليات والمعاهد إلى المراجع والكتب الحديثة حتى تستطيع أداء وظيفتها على الوجه الأمثل وتفتقر المكتبة العربية لكثير من الكتب الفنية التى تعتبر كمراجع ومصادر للمعرفة والبحث، وإيماناً منا بأهمية توفير كتاب عن محركات الاحتراق الداخلى باللغة العربية، عملنا على إعداد هذا الكتاب ليكون عوناً لأعزائنا طلبة الكليات والمعاهد الفنية وجميع المشتغلين فى هذا المجال.

يشتمل هذا الكتاب على أساسيات محركات الاحتراق الداخلى وأنواعها وأجزائها وكذلك الأجهزة المساعدة لمحرك الجرار واختتم بشرح واف لأداء واختبار المحركات، كما تجنبنا استعمال الأرقام الهندية (١،٢،٣،٤...) والتى إعتدنا استعمالها واستبدلنها بأرقامنا العربية Arabic Numbers (1,2,3,4...) التى تخلينا عنها وتركناها للإنجليزية تستمتع بها. وأضفنا فى النهاية ملحقان الأول يشتمل على الوحدات والأبعاد الهندسية والثانى مرجع مصغراً عن مصطلحات محركات الاحتراق الداخلى.

ولا يفوتنى هنا أن أتقدم بعظيم الشكر والتقدير إلى اساتذتى الأفاضل الذين تعلمت على أيديهم وكان لمؤلفاتهم ونصائحهم ولما قدموه من عون أكبر الأثر فى سبيل إنجاز هذا الكتاب. وكلى أمل فى أن أكون قد وفقت فى جمع وترتيب المادة العلمية حتى يصبح بمثابة إضافة مفيدة للمكتبة العلمية العربية. ونأمل فى النهاية أن يحقق هذا الكتاب هدفه ويلقى قبول وتقدير أساتذتى الفاضل والقارئ الكريم.

ومع بذل من جهود كبيرة فى هذا الكتاب لإخراجه بأفضل صورة إلا أن أى عمل بشرى لا يخلو من النقص والخطأ. وإذ أتمنى أن أكون قد وفقت بتقديمه على هذه الصورة فأننى أرحب بأى اقتراحات من قبل القارئ الكريم حتى يمكن الأخذ بها فى الإصدارات المستقبلية إن شاء الله.

وفى الختام بخالص نتقدم بالشكر لكل من قدم لنا الجهد والمشورة لإخراج هذا الكتاب بهذه الصورة وأخص بالذكر الآنسة/ سامية عبد الفتاح صقر والآنسة/ عبير سعد الحبروك لمجهودهم الوافى فى الكتابة والتجهيزات الفنية وأملنا كبير فى وجه الله تعالى أن يكون هذا الكتاب نعم العون للدارسين والعاملين فى هذا المجال. ونسأل الله سبحانه وتعالى التوفيق والسداد.

"ربنا لا تؤاخذنا إن نسينا أو أخطأنا، ربنا ولا تحمل علينا إصراً كما حملته على الذين من قبلنا وهب لنا من لدنك رحمة إنك أنت الوهاب"

صدق الله العظيم

والله ولى التوفيق

د/ السعيد رمضان العشرى



الحمد لله الذي هدانا لهذا

وما كنا لنهتدي لولا أن هدانا الله

توطئة

إني رأيت أنه لا يكتب إنسانٌ كتابا في يومه إلا قال في غده:

لو غير هذا لكان أحسن

ولو زيد هذا لكان أحسن

ولو قدم هذا لكان أفضل

ولو ترك هذا لكان أجمل

وهذا من أعظم العبر وهو دليل على استيلاء النقص على جملة البشر.



"ان فى ذلك لذكرى لمن كان له

قلب أو القى السمع وهو شهيد"

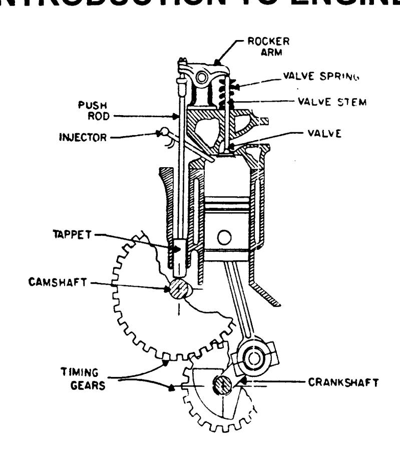


(ق : ٣٧)

الباب الأول

مقدمة فى المحركات

INTRODUCTION TO ENGINES





الباب الأول

مقدمة فى المحـــركا ت

INTRODUCTION TO ENGINES

1-1 - مقدمة:

المحركات الحرارية ذات الاحتراق الداخلى يتم فيها تحويل الطاقة الكيميائية المختزنة فى الوقود عند احتراقه مباشرة فى إسطوانات المحرك إلى طاقة حرارية ثم تحويل الطاقة الحرارية الناتجة إلى طاقة ميكانيكية.

1-2 - نبذة تاريخية عن محركات الاحتراق *Historical Review*

بعد أن تقدمت صناعة الآلات البخارية حيث أمكن تحويل الطاقة الحرارية للفحم إلى طاقة ميكانيكية، استرعى الانتباه كبر الطاقة الحرارية المفقودة، بالإضافة إلى الحيز الكبير الذى تشغله الآلة البخارية وملحقاتها، لذا فكر البعض فى إمكانية حرق الفحم مباشرة داخل إسطوانة المحرك الترددى الحركة، وبذلك لا يصبح هناك أى داعى لتوليد البخار، ولكن الوقت الطويل اللازم لاشتعال الفحم سبب صعوبة احتراقه أدت بفكرة آلة الاحتراق الداخلى إلى الانزواء حتى ظهر الوقود السائل والوقود الغازى وأمكن استخدامهما فى الآلة الجديدة.

فى عام 1680 تمكن العالم الفيزيائى الهولندى كريستيان هيكنس *Huygens* (1629- 1695) من بناء أول محرك يستخدم البارود، وقد أعجب ملك فرنسا لويس الثالث عشر بهذا المحرك وطلب استخدامه فى ضخ الماء الذى يخرج من نافورات حدائقه.

وتوقف المحرك عند هذا الحد من الاستخدام بالرغم من محاولات لم تتم لهيكنس **Huygens** ومساعده الفرنسى بابن **Papin** وفى عام 1680 اخترع الفرنسى بابن أول محرك يستخدم البنزين كوقود، وبذلك يمكن القول أن عصر آلات الاحتراق الداخلى بدأ عام 1688 فى عهد لويس الرابع عشر الملقب بملك الشمس، وفى نفس الوقت عصر الثورة الانجليزية الكبرى وفى عام 1705 اقترح الانجليزى توماس بيوكومين أول محرك يستخدم البخار ويعمل تحت الضغط الجوى لضخ الماء، وقد سجل هذا الاقتراح على أنه أول محرك ناجح.

وفى عام 1867 عرض الألمانيان أوتو **Otto** ولانجن **Langen** أول محرك رباعى الأشواط يستخدم الغاز كوقود، وكان هذا المحرك يستخدم كمية قليلة من الوقود وأظهر قدرة كبيرة جعلت هذا المحرك عمليا لاستخدامه تجاريا، وكان هذا هو أول محرك ذو احتراق داخلى يعمل عملا جيدا وهو الذى أطلق عليه اسم محرك أوتو **Otto**. وفى عام 1881 اخترع سير دوفالد كليرك المحرك ثنائى الأشواط بعد دراسته للأفكار المفيدة فى اختراع وتحسينات أوتو، وفى عام 1877 تمكنا سويا من إدخال تحسينات كبيرة ظهرت فى المحرك الذى نعرفه حاليا وبذلك ولد محرك أوتو **Otto** ذو الاحتراق الداخلى.

وتأرجح الوقود المستخدم، فتارة هو الهيدروجين أو غاز الإضاءة أو الكحول وأخيرا استقر الرأى على استخدام المنتجات البترولية كالكيروسين والبنزين، ثم تمكن مايباخ **Maybach** عام 1883 من تصميم وبناء أول محرك يستخدم وقود الكيروسين ثم عدله إلى استخدام البنزين ثم استخدمه فى سيارة صغــيرة عام 1886 بدأ سورر **Saurer** فى سويسرا فى تحسين هذا المحرك وفى نفس العام تم بناء محرك غازى هناك.

وفى عام 1892 ظهر محرك ديزل نسب إلى المهندس الألمانى (رودلف ديزل) الذى ولد فى باريس والذى أعتمد على ضغط الهواء فقط إلى أن تصل درجة حرارته إلى حد معين يكفى لاشعال الوقود الذى يتم ضخه فى نهاية شوط الانضغاط، وقد حاول ديزل فى تجربته الأولى ضخ غبار الفحم داخل إسطوانة تحتوى على هواء تحت ضغط عالى وقد حققت تجربته هذه النجاح ولكنها كادت تودى بحياته نتيجة للانفجار، وبعد هذه التجربة حول تفكيره الى استخدام الوقود السائل وتحقق له النجاح بعد أربع سنوات من الجهد الشاق وقد قامت شركة مان ***M.A.N*** بشراء اختراع محرك الديزل، وكانت الكفاءة الحرارية لمحركات الديزل الابتدائية فى حدود 26.2%.

وفى عام 1905 تم صنع أول محرك ثنائى الأشواط تحت إشراف ديزل واستخدم فى البحرية وأجريت عليه الكثير من التحسينات واستخدمت البوابات ***Ports*** وطريقة الكنس الطولى ***Uniflow Scavening*** وأدت التجارب عليه إلى زيادة قدرة المحرك مما شجع يونكرز وبعده دوكسفورد على صنع المحرك ذى المكبسين المتضادى الحركة ***Piston Engine***.

وفى سبتمبر 1913 فقد ديزل فى ظروف غامضة أثناء سفره على باخرة متجها إلى انجلترا من ألمانيا وفى عام 1935 بدأ تعميم طريقة الحقن المباشر للوقود والإستغناء نهائيا عن الضاغط الهوائى وتبسيط المحرك.

وبذلك يمكن القول بأن عام 1930 كان نهاية مرحلة فى صناعة محركات الديزل، إذ أن معظم الصعوبات التى كانت تعترض بناء المحرك المناسب وصنعه بأقل التكاليف الممكنة قد زالت تقريبا وقفزت قدرات المحركات الى 15000 حصان فى الاستخدام البحرى، وظل المحرك الرباعى الأشواط فى المقدمة، ولكن أول محرك ديزل تم استخدامه فى الجرارات الزراعية لم يظهر إلا فى عام 1931.

وكان عام 1931 له أهمية كبيرة فى علم الاحتراق الداخلى إذ تمكن بوش ***Bochi*** من صنع أول محرك رباعى الأشواط بعمل طريقة الشحن الزائد ***Supercharging*** بواسطة توربين غازى يدير ضاغط هوائى يغذى المحرك بالهواء اللازم لاحتراق الوقود مما رفع قدرة المحرك الى 150%.

1-3- تقسيم محركات الاحتراق الداخلى
Classification of Internal Combustion Engine

يمكن تقسيم محركات الاحتراق الداخلى إلى:

1-3-1- من حيث طريقة الاشتعال ***Method By The Ignition***

أ- محركات الاشتعال بواسطة الشرارة *Spark Ignition Engines*

- المحرك البنزينى *Benzin Engine*

يستخدم فى هذه المحركات وقود سريع "البنزين" ويدخل هذا الوقود فى إسطوانة المحرك بعد تحويله إلى رذاذ، وخلطه بكمية معينة من الهواء، ويتم ذلك خارج إسطوانة المحرك فى جهاز خاص يسمى المغذى ***Carburator***، وهذا الجهاز يخلط الوقود بالهواء بنسب معينة يمكن التحكم فيها، و يتم الإشعال بواسطة شرارة كهربائية فى نهاية شوط الضغط.

- المحرك الغازى *Gas Engine*

الوقود المستخدم فى هذا المحرك هو الغاز الطبيعى أو الغاز الناتج من مولد غازى ودائما يجب تنظيف الغاز من التركيبات الكيميائية التى قد تؤثر تأثيراً ضارا على معدن المحرك، ويستخدم المحرك الغازى خليطا من الغاز والهواء اللذان يضغطان سويا بعد خلطهما جيدا، وبعد حدوث الشرارة ينتشر اللهب داخل المخلوط وتتم عملية الاحتراق.

- **المحرك المشترك:**

هو محرك يعمل باستخدام الوقود السائل (بنزين مثلاً) والوقود الغازى (الغاز الطبيعى) كلا على حده. وهو محرك بنزينى فى الأصل ويمكن تعديله ليعمل بالغاز كما هو الحال الآن فى السيارات التى تعمل بالغاز الطبيعى بمصر حيث يعمل المحرك على وقود الغاز الطبيعى فقط وعند عدم توفر الغاز يتم تحويله لاستخدام الوقود السائل (بنزين).

ب ـ محركات الاشتعال بالانضغاط *Combustion Ignition Engines*

ويتم الاشتعال بواسطة رفع ضغط الشحنة إلى درجة الاشتعال الذاتى للوقود وبعد ذلك يتم دفع الوقود إلى الهواء المضغوط الموجود داخل غرفة الاحتراق.

- **محركات الديزل *Diesel Engines***

فى هذه المحركات يسحب الهواء النقى ثم يحفظ بنسبة كبس عالية فينتج عن ذلك ارتفاع كبير فى درجة الحرارة، ويدفع الوقود الديزل حيث يختلط بالهواء المضغوط الموجود بها، فيشتعل هذا الخليط تلقائيا نتيجة للحرارة العالية الناتجة عن الانضغاط، ويستخدم فى هذه المحركات وقود السولار وهو أقل تطايرا من وقود محركات الإشتعال بالشرارة.

- **المحرك المختلط *Gas-Diesel Engine***

فى هذا المحرك يستخدم غاز الميثان أو الغاز الطبيعى وهى غازات تحتمل نسبة انضغاط عالية ويصمم المحرك تماما كالمحرك الديزل العادى وتسحب غاز وهواء يتم خلطهم وضغطهم ثم يحقن الديزل فى الخليط المضغوط الساكن فيشتعل مخلوط الهواء والغاز.

1-3-2 من حيث غرض الاستخدام *By The Purpose By Application*

أ- محركات ثابتة *Stationary*هو محرك مثبت فى مكان ما وذلك لتشغيل وحدة توليد كهرباء ولإدارة طلمبة رى.

ب- محركات متنقلة: وهى محركات مركبة على السيارات والجرارات وعربات النقل والسفن.

1-3-3 من حيث خـلط الشحنة *By The Fuel-Air Mixing Method*

أ- محركات خلط خارجى للشحنة *Engines with External Mixing*

ويتم فيها مزج الهواء مع الوقود خارج المحرك ومن أمثلة هذه المحركات محركات البنزين.

ب- محركات خلط داخلى للشحنة *Engines with Internal Mixing*

ويتم فيها دخول الهواء إلى المحرك ثم يحقن الوقود ويتم مزج الهواء مع الوقود فى الداخل ومن أمثلة هذه المحركات محركات الديزل.

1-3-4 من حيث عدد الأشواط فى الدورة الحرارية

By The Number of Strokes in One Complete Cycle

أ- محركات رباعية الأشواط *Four Stroke Engines*

يتم فى هذه المحركات إتمام الدورة الحرارية فى أربعة أشواط.

ب- محركات ثنائية الأشواط Two Stroke Engines

يتم فى هذه المحركات إتمام الدورة الحرارية فى شوطين.

1-3-5- من حيث عدد الاسطوانات *By The Number of Cylinders*

أ- محركات ذات اسطوانة واحدة *Single Cylinder Engines*

ب- محركات متعددة الإسطوانات *Multi cylinder Engines*

1-3-6- من حيث ترتيب الإسطوانات *By Cylinders Arrangement*

تعتبر طريقة ترتيب الإسطوانات واحدة من أكثر الطرق شيوعا لتصنيف المحركات الترددية.

أ- المحركات المستقيمة *In-Line Engines*

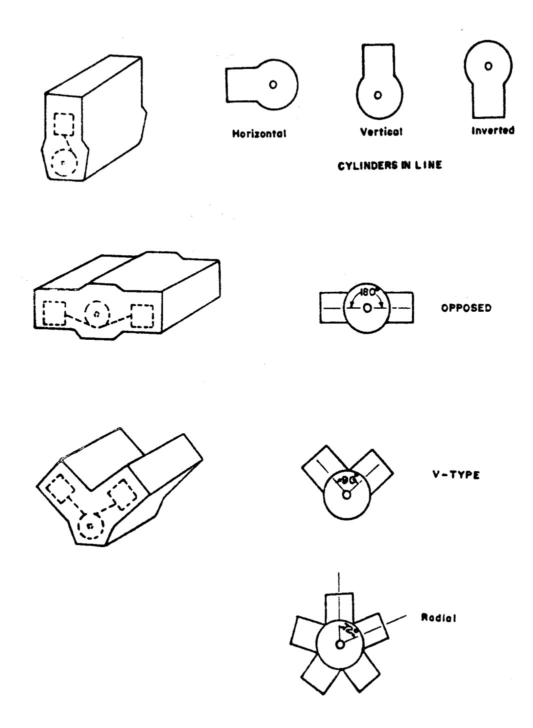
المحرك المستقيم عبارة عن محرك يحتوى على صف واحد من الإسطوانات، أو بتعبير آخر هو المحرك الذى ترتب فيه الإسطوانات بصورة خطية ويتم نقل القدرة من هذه الإسطوانات إلى عمود مرفقى واحد، وينتشر إستعمال هذا النوع من المحركات فى السيارات، وتعتبر المحركات ذات أربعة إسطوانات والمحركات ذات ست إسطوانات المرتبة خطيا من النوع الشائع لهذه المحركات شكل (1-1).

ب- المحركات على هيئة حرف V *V-Type Engines*

فى هذا النوع من المحركات يتم ترتيب الإسطوانات فى صفين على عمود مرفقى واحد بينهما زاوية مقدارها 90°، وينتشر هذا النوع فى محركات المركبات الكبيرة والتى يلزمها محرك متعدد الإسطوانات فى حيز ضيق.

جـ- محرك متضاد الإسطوانات *Opposed Engines*

يتكون هذا المحرك من مجموعتين من الإسطوانات موضوعة فى مستوى واحد على جانبى العمود المرفقى وبتعبير آخر يمكن اعتبار هذا المحرك مجموعتين من الإسطوانات المرتبة بصورة مستقيمة بينهما زاوية مقدارها 180° ويمتاز هذا المحرك بإتزانه وكذلك بإحتوائه على عمود مرفقى واحد ويستخدم هذا النوع من المحركات فى الطائرات ***Air Crafts*** وفى بعض السيارات الصغيرة.



شكل (1-1): تقسيم المحركات من حيث ترتيب الإسطوانات

د- المحرك الدائرى *Radial Engines*

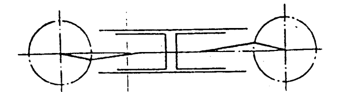
يحتوى هذا النوع من المحركات على أكثر من إسطوانتين فى صف واحد موزعة بصورة منتظمة حول العمود المرفقى، ويستخدم هذا النوع من المحركات فى الطائرات التى تبرد بواسطة الهواء، وفى هذا المحرك تكون كتل المحرك فيما بينها دائرة وتتوقف الزاوية بين كتل المحرك على عدد الكتل.

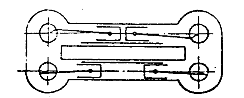
هـ- محرك متقابل المكبس

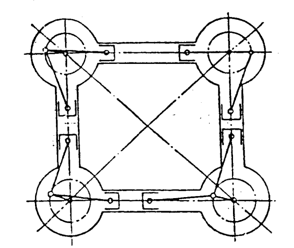
تحتوى الإسطوانة فى هذا النوع من المحركات على مكبسين كل منهما يحرك عمود مرفقى منفصل عن الآخر ويمتاز هذا النوع من المحركات بإتزانه كما هى الحال فى المحرك متضاد الإسطوانات بالإضافة إلى ذلك فإن إسطوانة هذا النوع من المحركات لا تحتوى على رأس أو غطاء، كما أن السرعة النسبية للمكبس (معدل تغيير الحجم) تكون مضاعفة، وكما يلاحظ من الشكل فان هذا الترتيب يسمح بدخول وخروج الغازات فى نفس الإتجاه أثناء عملية الإكتساح كما أن موقع المكبس داخل الإسطوانة هو الذى يسيطر على فتح أو غلق فتحات صمامى الدخول والعادم، ويعرف هذا النوع من المحركات بالمحرك زوجى التأثير ***Double Acting Engine*** وهذا النوع غير شائع الإستعمال نظرا لصعوبة التصنيع ويوضح شكل (1-2) التصميمات المختلفة للمحرك المتقابل المكبس.

1-3-7- من حيث ترتيب الصمامات *Valves Arrangement*

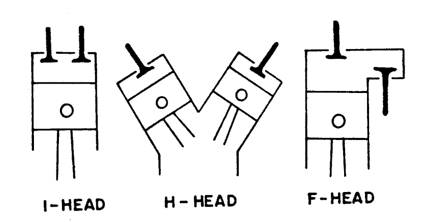
يمكن تقسيم المحركات أيضا طبقا لوضع وترتيب صمامات السحب والعادم، وهذا يعتمد على وضع الصمام فى كتل المحرك أو فى رأس الإسطوانات ***Cylinder Head***، ويرمز للأوضاع المختلفة للصمامات بالحروف ***H,F,I,T,L*** وهى أوضاع شائعة فى المحركات ويوضح شكل (1-3) تقسيمات المحركات من حيث ترتيب الصمامات.

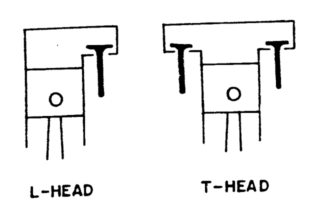






شكل (1-2): التصميمات المختلفة للمحرك المتقابل





شكل (1-3): تقسيم المحركات من حيث ترتيب الصمامات

أ- محركات ذات رأس L

فى حالة ما إذا كان رأس الإسطوانة على شكل L تكون غرفة الاحتراق والإسطوانة شكلا يشبه الحرف L وتكون صمامات السحب والعادم جنبا إلى جنب وجميع صمامات المحرك فى صف واحد، ويسمح هذا الوضع باستعمال عمود كامات واحد لتشغيل جميع الصمامات، وبما أن مجموعة تحريك الصمامات تكون موجودة فى جسم الإسطوانة فإن ذلك يسهــل عملية فك كتلة رأس الإسطوانة لعمل الإصلاحات الكبيرة بالمحرك.

ب- محركات ذات رأس I

تركب الصمامات فى رأس الإسطوانة فى المحركات ذات الرأس I ويطلق على هذه الصمامات "الصمامات العلوية" وفى المحركات ذات الإسطوانات الموجودة على خط مستقيم واحد تكون الصمامات كلها فى صف واحد، لذلك فإنه يلزم عمود كامات واحد لتشغيل جميع الصمامات، وقد تكون أعمدة الكامات علوية فى بعض المحركات ذات الصمامات العلوية محركات سيارات السباق. وبهذه الطريقة يمكن الاستغناء عن روافع دفع الصمامات والأذرع المتأرجحة لنقل الحركة للصمامات، إلا أنه يحتاج الأمر فى هذه الحالة إلى جنزير وعجلات مسننة أو مجموعة تروس لنقل الحركة من عمود المرفق إلى عمود الكامات، وقد انتشر استعمال الصمامات العلوية فى السنوات الأخيرة لأنها تمكن المصمم من الوصول بالمحركات إلى نسب انضغاط عالية.

جـــ - المحركات ذات الرأس F

يمكن اعتبار هذا النوع من المحركات هو جمع بين الرأس Lوالرأس Iوتكون صمامات السحب فى رأس الإسطوانات فى حين توجد صمامات طرد العادم فى جسم الإسطوانة، وتأخذ مجموعتا صمامات السحب والعادم حركتهما من عمود كامات واحد.

د- المحركات ذات الرأس H

وتكون كل الصمامات فوق الإسطوانات خصوصا فى المحركات على هيئة حرف Vويستعمل عمود تاكيهات واحد لتشغيل الصمامات .

هـ ـ المحركات ذات الرأس T

وتكون صمامات السحب فى جانب وصمامات العادم فى جانب أخرى لذلك فإنه يلزم عمودين كامات (عمود لكل جانب) لتشغيل الصمامات.

1-3-8 طبقـا لطريقة التبريد *By The Cooling Method*

ويمكن تقسيم المحركات طبقا لطريقة التبريد وبصفة رئيسية يوجد نوعين من التبريد:-

أ- محركات التبريد بالهواء ***Air Cooled Engines***

وفيه يمكن تبريد المحرك بواسطة مرور تيار من الهواء مباشرة على إسطوانات المحرك، وتستخدم هذه الطريقة غالباً مع المحركات ذات القدرة المنخفضة.

ب- محركات التبريد بالسوائل ***Liquid Cooled Engines***

ويستخدم مع المحركات ذات القدرة الكبيرة وفيه يتم سحب الحرارة بطريقة غير مباشرة عن طريق دورة تبريد باستخدام سائل ما وفى الغالب يكون المياه.

1-3-9- طبقا للسرعة الخطية للمكبس *By The Mean Piston Speed*

يتحرك المكبس حركة ترددية وتكون سرعة المكبس متغيرة لذلك تحسب السرعة المتوسطة لحركة المكبس وتؤخذ أساس لتقسيم المحركات كمايلى:

أ ـ محركات منخفضة السرعة الخطية ***Low rate***

وتتراوح فيها السرعة من 4.5 إلى 7 متر / ث.

ب ـ محركات متوسطة السرعة الخطية *Medium rate*

وتتراوح فيها السرعة من 7 إلى 10 متر/ ث.

جـ ـ محركات عالية السرعة الخطية *High rate*

وتتراوح فيها السرعة من 10 إلى 15 متر / ث.

1-3-10- طبقا للسرعة الدورانية لعمود الكرنك

By The Rate of Crankshaft Rotation

ويمكن تقسيم المحركات طبقا لسرعة دوران عمود الكرنك على النحو التالى:

أ ـ محركات منخفضة السرعة الدورانيـــة

وتتراوح فيها السرعة الدورانية من 100 إلى 350 لفة/ دقيقة.

ب ـ محركات متوسطة السرعة الدورانية

وتتراوح فيها السرعة الدورانية من 350 إلى 750 لفة/ دقيقة.

جـ ـ محركات عالية السرعة الدورانية

وتتراوح فيها السرعة الدورانية من 750 إلى 2250 لفة/ دقيقة.

الباب الثانى

الأجزاء الرئيسية للمحرك

Engine Parts



الباب الثانى

الأجزاء الرئيسية للمحرك

Engine Parts

2-1- مقدمة

تتكون محركات الإحتراق الداخلى مهما إختلفت تصميماتها من الأجزاء الآتية:

أ- الأجزاء الثابتة فى المحرك وتشمل :

- كتلة الاسطوانات ***Cylinders Block***
- رأس الاسطوانات ***Cylinders Head***
- علبة المرفق (علبة الكارتير) ***Crank Case***
- الكراسى الرئيسية (المحاور) ***Bearing***

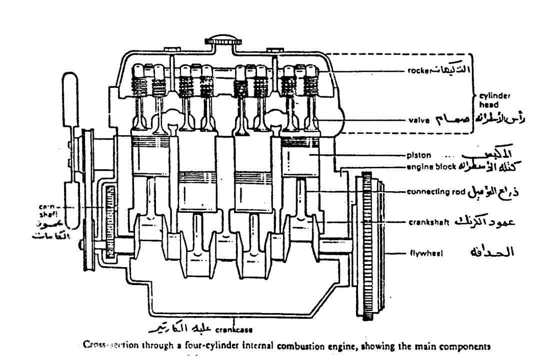
ب- الأجزاء المتحركة وتسمى المجموعة المرفقية وتشمل :

- عمود المرفق (الكرنك) ***Crank Shaft***
- المكبس ***Piston***
- الشنابر ***Rings***
- ذراع التوصيل ***Connecting Rod***
- الكراسى ***Bearing***
- الحدافة ***Flywheel***

جـ- مجموعة توقيت فتح وغلق الصمامات و تشمل :

- عمود الكامات ***Camshaft***
- الصمامات ***Valves***
- التاكيهات ***Rockers***
- عمود التاكيهات ***Rocker Arm***

ويوضح الشكل (2-1) قطاع لمحرك مستقيم أربع اسطوانات مبيناً عليها الأجزاء الرئيسية. كما يوضح الشكل (2-2) قطاع لمحرك حرف V مبيناً عليها الأجزاء الرئيسية.



Cross-section through a four-cylinder internal combustion engine, showing the main components

شكل (2-1): قطاع لمحرك أحتراق داخلى رباعى الاسطوانات

عمود التاكيهات
ROCKER ARMS
رأس الاسطوانة
CYLINDER HEAD
صمام
VALVE
اسطوانة
CYLINDER
مكبس
PISTON
كتلة الاسطوانة
CYLINDER BLOCK
ذراع التوصيل
CONNECTING ROD
عمود الكامات
CAMSHAFT
عمود الكرنك
CRANKSHAFT
IN-LINE BLOCK
V BLOCK

الأجزاء الأساسية للمحرك
Parts Of A Basic Engine

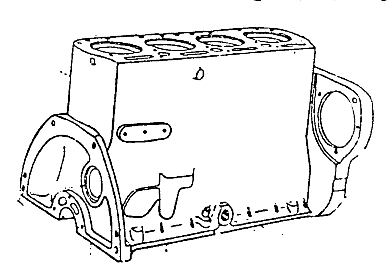
شكل (2-2): قطاع لمحرك على شكل حرف V وآخر في صف واحد مبين عليه الأجزاء الرئيسية

2-2- الأجزاء الثابتة فى المحرك

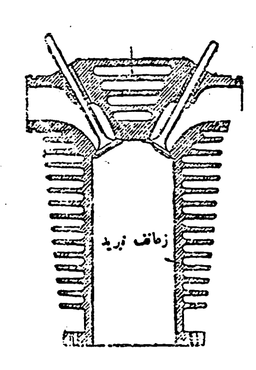
أ - كتلة الاسطوانات *Cylinders Block*

تصنع كتلة الاسطوانات من الزهر الرمادى الذى يحتوى على 3% كربون وغالبا من الجرافيت المنفصل والذى يعطى الزهر اللون الرمادى، ويتميز الزهر الرمادى بأنه رخيص الثمن ويتحمل درجة الحرارة والضغوط العالية التى تحدث داخل الاسطوانة دون حدوث أى إعوجاج فيه، كما أنه ذو نعومة تساعد على سهولة تشكيله وتجعل من الممكن تشطيبه بقطعية واحدة ناعمة السطح كما أن الزهر الرمادى يقاوم التآكل والصدأ وقادر على امتصاص الذبذبة، وإذا ما تطلب الحال زيادة فى صلادته وقوته صنع على شكل سبيكة بإضافة النيكل أو الكروم إليه وربما تصنع كتلة الاسطوانات من الصلب أو الألمونيوم لخفة الوزن، ويوضح شكل (2-3) نموذج من كتلة الاسطوانات.

وتوجد فى كتلة الاسطوانات ممرات "جيوب" التبريد المحيطة بالاسطوانات وكذلك كراسى التحميل الأساسية لعمود المرفق وكراسى التحميل لعمود الكامات وفى محركات التبريد بالهواء تزود كتلة الاسطوانات بزعانف لزيادة مســاحة التبريد ويوضح شكل (2-4) نموذج لكتلة اسطوانة لمحرك تبريد هواء.

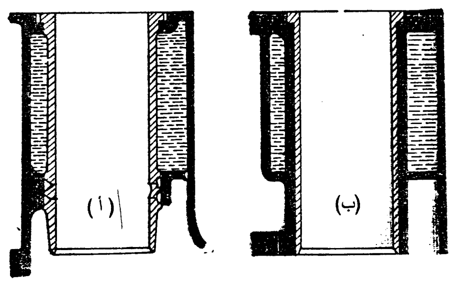


شكل (2-3): كتلة الاسطوانات



شكل (2-4): كتلة اسطوانات مزودة بزعانف تبريد

نظرا لتحرك المكبس إلى أعلى أو إلى أسفل فى تجويف الاسطوانة وبمرور الوقت يتآكل جدار الاسطوانات وينتج عن ذلك انخفاض ملحوظ فى كفاءة المحرك، وعلاوة على ذلك يفشل المحرك فى بدء حركته فور تشغيله، كما يزداد استهلاك الوقود وزيوت التزييت بشكل ملحوظ، ويصبح صوت المحرك عاليا، لذلك تزود كتل الاسطوانات بجلب الاسطوانة (بطانة أو قميص) وهى عبارة عن اسطوانة رقيقة من حديد الزهر المسبوك الرمادى أو الصلب أو غير ذلك من السبائك المعدنية، وفى بعض الحالات تعالج حراريا لاكتسابها درجة صلادة خاصة، وذلك لزيادة مقاومة السطح للتآكل ويمكن تغييرها بسهولة عندما تتآكل بدلا من خراطة الاسطوانة نفسها، وهناك نوعان رئيسيان من جلب الاسطوانات وهما البطائن المبتلة التى تلامس مياه التبريد وتحيط بها (شكل 2-5 أ) والبطائن الجافة التى لا تلامسها مياه التبريد (شكل 2-5ب).

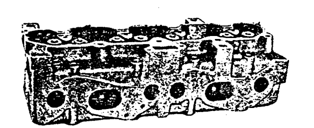


شكل (2-5): بطائن الاسطوانات

ب- الجافة   أ- المبتلة

ب- رأس الاسطوانات *Cylinders Head*

هو الغطاء العلوى لكتلة الاسطوانات وعادة تسمى رأس الاسطوانات ***Cylinders head*** ويوضح شكل (2-6) نموذج لرأس الاسطوانات، وتصنع رأس الاسطوانات من الحديد الزهر الرمادى وقد تستعمل فى صناعته سبيكة الألمونيوم التى تمتاز بمقدرتها على توصيـــل الحرارة، وهذه الخاصية مرغوبة وذلك نظراً لتعرض رأس الاسطوانات لدرجات الحرارة العالية الناتجة من الاحتراق، وتزود رأس الاسطوانات بغرف الاحتراق وتجاويف الصمامات وفتحات خاصة لشمعات الاحتراق فى محركات البنزين أو رشاشات حقن الوقود فى محركات الديزل، بالإضافة إلى تجاويف لمرور مياه التبريد.



شكل (2-6): رأس الاسطوانات

ويثبت رأس الاسطوانات بإحكام بكتلة الاسطوانات بواسطة مسامير ربط، ويجب أن تكون الوصلة بين رأس الاسطوانات وكتلة الاسطوانات محكمة وقادرة على تحمل الضغط والحرارة الناتجة من الاحتراق، لذلك يوضع جوان بينهما يعرف بجوان رأس الاسطوانات، وتصنع الجوانات من أنواع رقيقة من معدن طرى أو اسبستوس، وقد تكون من نحاس خالص أو من لوحين رقيقين من النحاس بينهما اسبستوس أو من صلب مجعد.

ويحتوى الجوان على فتحات لتوافق جميع فتحات الماء والاسطوانات والصمامات وفتحات مسامير رأس الاسطوانات فى كتلة الاسطوانات والرأس ويوضح شكل (2-7) جوان رأس الاسطوانات، وعند وضع هذا الجوان فى مكانه بين الكتلة ورأس الاسطوانات وبالربط المحكم للمسامير نحصل على إحكام للوصلة بدرجة فعالة مما يؤدى إلى منع مياه التبريد من التسرب إلى غرف الاحتراق أو منع تسرب الغازات بين الاسطوانات .

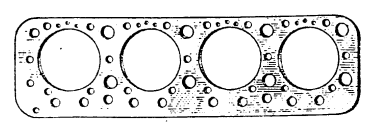
جـ-علبة المرفق "علبة الكارتير" *Crank Case*

تصنع عادة علبة المرفق من الصلب المضغوط، وتثبت فى الجانب السفلى لكتلة الاسطوانات ويوضع جوان بينهما وتحتوى علبة المرفق على الزيت اللازم

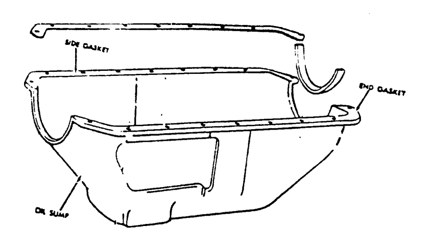
لتزييت المحرك ونظرا لضرورة تغيير هذا الزيت من حين لأخر فإن الحوض يزود بفتحة لتصريف الزيت توضع فى أسفل موضع فيه، ويوضح شكل (2-8) نموذج لعلبة الكارتير.

د – الكراسى الرئيسية *Bearing*

يطلق على الكراسى التى تحمل المرفق ويدور فيها اسم الكراسى الرئيسية، و يتركب كرسى المحور عادة من جزئين أو نصفين يقع أحدهما أسفل الآخر فالنصف الأسفل يشكل فى كتلة الاسطوانات ويثبت معه النصف الآخر " الغطاء" ***earing Cap*** بواسطة مسامير قلاووظ ويكون معظم التآكل فى النصف السفلى من الكراسى نظرا لأنه يتحمل بمفرده وزن المرفق كما يقع عليه دفع المكبس.



شكل (2-7): جوان رأس الاسطوانات



شكل (2-8): علبة المرفق (علبة الكارتير) Crank cas

ويوجد مع الكراسى لقم تعرف بلقم الكراسى وهو الجزء الملامس للمحور مباشرة وتصنع عادة من معدن ذى مقاومة احتكاك قليلة وتتحمل الضغوط الكبيرة والسريعة العالية والحرارة المرتفعة أثناء التشغيل وأفضل المعادن فى هذا الشأن هى البرونز الفوسفورى أو السبيكة البيضاء وتتحمل اللقم المصنوعة من البرونز الفوسفورى مدة طويلة بعكس اللقم المصنوعة من السبيكة البيضاء، إلا أن اللقم البرونزية تحتاج إلى كمية أكبر من زيت التزييت عنها فى اللقم المصنوعة من السبيكة البيضاء.

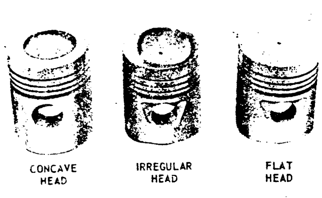
2-3- الأجزاء المتحركة (المجموعة المرفقية)

تقوم هذه المجموعة بتحويل حركة المكبس الترددية إلى حركة دورانية على عمود المرفق "الكرنك" وتتكون هذه المجموعة من: المكبس وذراع التوصيل وعمود المرفق والحدافة.

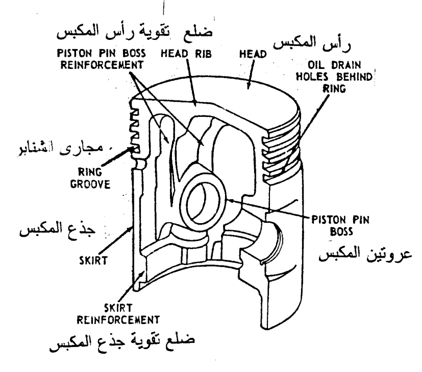
أ – المكبس *Piston*

يتوقف شكل مكابس محركات الاحتراق الداخلى على نوع الدورة الحرارية التى تعمل بها هذه المحركات، فمثلا فى محركات الديزل نجد عادة تجاويف فى رءوس المكابس لتشغل جزء من غرفة الاحتراق وكذلك لتعمل على سرعة خلط الهواء مع الوقود، وقد كانت المكابس تصنع فى البداية من الحديد الزهر الرمادى، وبمرور الوقت أصبحت هذه المادة غير مناسبة وحلت محلها السبائك الخفيفة، وأهم مزايا هذه السبائك خفة الوزن، وبالتالى تخفض أحمال القصور الذاتى إلى أقل ما يمكن وسهولة التنظيف مما يتراكم عليه من كربون وعدم تآكل الاسطوانة إذا ما تمدد نتيجة للحرارة وذلك نظرا لسرعة تخلصه من الحرارة، كما أن عمليات إنتاج المكابس المصنوعة من السبائك الخفيفة أبسط من عمليات المكابس المصنوعة من الحديد الزهر، وبالتالى فإنها أقل منها تكلفة .ويوضح شكل (2-9) نماذج للمكابس المحرك.

يطلى جذع المكبس بطبقة رقيقة من القصدير أو الجرافيت لنعومة السطح ووقاية الاسطوانة من الخدش، ويحتوى جذع المكبس (شكل 2-10) على ثقبان (عروتين لهما فتحتان لبنز المكبس) وفى بعض المكابس يزال جزء من جداره حول الفتحة حتى يكون هناك مجال لتمدد البنز.



شكل (2-9) نماذج لمكبس المحرك



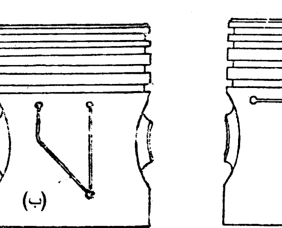
شكل (2-10) قطاع فى مكبس مبين عليه أهم أجزاءه

خلوص المكبس *Piston Clearence*

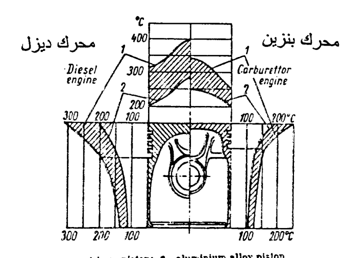
يعرف خلوص المكبس بأنه المسافة بين المكبس والجدار الداخلى للاسطوانة ويجب أن يكون هذا الخلوص بدرجة كافية لضمان إنزلاق المكبس داخل الاسطوانة أثناء التشغيل وفى العادة يكون مقدار الخلوص يعادل 0.01 من قطر الاسطوانة وذلك فى حالة المكابس المصنوع من الزهر، أما المكابس المصنوعة من الألمونيوم فيكون مقدار الخلوص الضعف نظرا لأن مقدار تمدد الألمونيوم ضعف تمدد الزهر، ويلزم أن يكون مقدار الخلوص عند رأس المكبس أكبر مما بينهما عند أسفل وذلك نظرا لتعرض الرأس مباشرة للهب الغازات المشتعلة وتمدده بدرجة أكبر، وتوجد مكابس تعرف بالمكابس ذات جذر مشقوق حيث يكون جدار المكبس به شق حيث يأخذ الشق أشكالا مختلفة، منها على شكل حرف T أو على شكل حرف U كما يوضح شكل (2-11) وفى هذه الأنواع لا يتغير الخلوص بين المكبس وجذر الاسطوانة إذا ما ارتفعت درجة حرارة المكبس وذلك لأن الشق الموجود بالجدار يسمح للمكبس بالتمدد دون زيادة فى قطر جذع المكبس، ولذلك لا يتغير مقدار الخلوص فى هذه الأنواع ويقل مقدار الخلوص اللازم عن الأنواع غير المشقوقة.

ويجب ألا يتلامس جذع المكبس مع جدار الاسطوانة فى أثناء التشغيل لذلك يجب المحافظة على مقدار هذا الخلوص، فإذا كان خلوص المكبس أقل من اللازم فقد يؤدى إلى إلتصاق المكبس فى داخل الاسطوانة نتيجة تمدد المكبس مع درجة الحرارة المتزايدة، وإذا كان الخلوص زائدا عن حده المسموح به سوف يؤدى إلى رجرجة المكبس عند عكس حركته من أعلى إلى أسفل أو العكس بالإضافة إلى تسرب الغازات إلى علبة المرفق وإنخفاض الضغط داخل الاسطوانة وبالتالى فقد فى قدرة المحرك، ويبين شكل (2-12) مثال لتوزيع الحرارة على سطح جدار المكبس أثناء التشغيل وذلك لمحرك ديزل وآخر بنزين ولنوعين من المكابس الأول

مصنوع من الألمونيوم والثاني مصنوع من الحديد الزهر حيث يوجد أكثر من 100° درجة مئوية فرق بين أعلى وجذع المكبس.



شكل (2-11): مكابس ذات جزع مشقوق
(أ- على شكل حرف T & ب- على شكل حرف U)



شكل (2-12): توزيع الحرارة على سطح جدران لمكبس لمحركين بنزين وديزل

وعند تصميم المكبس وأبعاده يراعى الحمل الميكانيكى والحمل الحرارى وشكل غرف الاحتراق وعدد الشنابر وكذلك بعد الشنبر الأول عن سطح المكبس. ويلاحظ أن النسبة بين طول جذع المكبس إلى قطره لمحرك الديزل أكبر منها فى محرك البنزين، وهذا يرجع إلى:

- عدد شنابر الضغط والزيت فى الديزل أكبر من البنزين.
- بعد أول مجرى عن مجرى عن سطح المكبس (h) فى العمود أكبر من البنزين.
- وقطر البنز فى الديزل أكبر من البنزين.

مجارى الشنابر *Ring Grooves*

هى مجارى مقطوعة فى المكبس فى الجزء الأعلى منه ولبعض المكابس مجرى لشنبر يقع قرب النهاية السفلى، وتوضع داخل مجارى الشنابر.

شنابر المكبس *Piston Rings*

الغرض من الشنابر هو منع تسرب الغازات بين المكبس وجدران الاسطوانة وكذلك العمل على توزيع زيوت التزييت توزيعا تاما ومنتظما على جدران الاسطوانة وأخيرا المساعدة على تبريد المكبس. وشنابر المكبس عبارة عن حلقات دائرية مشقوقة حتى لا يصعب تركيبها فى المكبس، ويعرف شق الحلقة باسم ثغرة الشنبر.

ومعظم الشنابر تصنع من الزهر الرمادى المسبوك فيه خاصية المرونة ***Elastic*** وأحيانا من الصلب السبائكى، وكلا المعدنين قادر على تحمل درجات الحرارة التى تتعرض لها، ويحتفظان بنسبة كبيرة من مرونتها الأصلية بعد مدة طويلة من العمل، ويطلى سطح الشنابر العلوى بالكروم المسامى لغرض زيادة مقاومته للتآكل، وعند تركيب الشنابر داخل الاسطوانة يجب أن تؤثر بقوة ضغط

إلى الخارج تجعلها دائما مفرودة وملاصقة لجدران الاسطوانة، ويتراوح هذا الضغط بين 0.5 – 1.0 كجم/سم^2، ولا يجب أن يزيد ضغط الشنبر عن حد معين حتى لا تتآكل جدران الاسطوانة وكذلك يتآكل الشنبر نفسه وتحدث تسلخات فى الشنبر وفى سطح جدار الاسطوانة الداخلى.

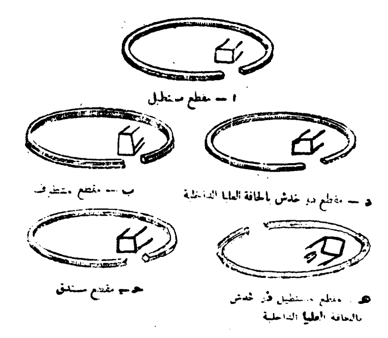
أنواع الشنابر *Types of Rings*

يختلف عدد وأنواع الشنابر باختلاف نوع المحرك ومعظم المحركات ذات ثلاثة شنابر أو أكثر، وتنقسم الشنابر إلى نوعين، منها شنابر ضغط ومنها شنابر التزييت.

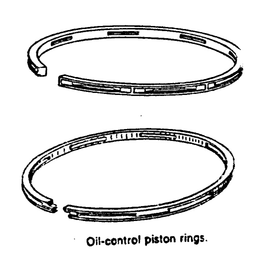
شنابر الضغط *Compression Rings*: توجد فى الجزء العلوى من المكبس ويتراوح إعدادها من اثنين إلى أربعة، وتعمل هذه الشنابر على منع التسرب من خلال خلوص المكبس كما أنها تساعد على تبريد المكبس بنقل أكبر جزء من حرارة المكبس إلى جدران الاسطوانة ويوجد تصميمات متعددة لشنابر الضغط كما بشكل (2–13) فإما أن تكون مستطيلة المقطع أو تكون من النوع المشطوف أو من النوع ذى الحافة المستدقة.

شنابر التحكم فى الزيت *Oil Control Rings*

وشنبر الزيت يركب فى الجزء السفلى من المكبس، وشنابر الزيت بها ثقوب حيث يمر الزيت المكشوط من جدران الاسطوانة خلال هذه الثقوب، ومن خلال ثقوب توجد فى مجارى شنابر الزيت بالمكبس و يعاد الزيت مرة أخرى إلى علبة المرفق. ويوضح شكل (2–14) شنابر التزييت، وتعمل شنابر الزيت على ضبط كمية زيت التزييت على جدران الاسطوانة وإعادة الزائد منها إلى علبة المرفق، وذلك لمنع تسرب زيت التزييت إلى غرفة الاحتراق حيث يتضخم على جدران الغرفة وسطح المكبس ويكون طبقة رديئة التوصيل للحرارة فتقل كفاءة التبريد.



شكل (2-13): تصميمات شنابر الضغط



Oil-control piston rings.

شكل (2-14): شنابر التزييت

ثغرة الشنبر Ring end clearance

ترتفع درجة حرارة الشنبر أثناء تشغيل المحرك لذا تترك مسافة عند طرفى الشنبر تسمح له بالتمدد تعرف هذه المسافة باسم ثغرة (فتحة) أو نهاية الشنبر Ring end ويأخذ طرف الشنبر شكلاً معيناً يعمل على التقليل من تسرب الغازات ويبين شكل (2-15) ثلاث أنواع هى شنابر بثغرات مختلفة.

ويجب ألا تكون ثغرات الشنبر شديدة الاتساع، ويجب ألا تركب جميع الشنابر بحيث تقع جميع ثغراتها فى خط عمودى واحد، وانما يجب تركيبها بحيث تكون ثغراتها متفرقة وموزعة على محيط المكبس، وأثناء حركة المحرك تملئ الثغرات بزيت التزييت الذى يعمل على منع تسرب الغازات.

وصلة تقابلية

وصلة تراكبية

وصلة على زاوية ٤٥°

شكل (3-15): أشكال ثغرة الشنبر

بنز المكبس Piston Pin

هو الجزء الذى يصل المكبس بالنهاية الصغرى لذراع التوصيل ويحمل البنز فى ثقبى المكبس ويمر داخل النهاية الصغرى لذراع التوصيل ويصنع البنز من الصلب السبائكى نظرا لكونه أحد الأجزاء التى تتعرض لإجهادات شديدة للمحرك ويصلد سطحه ويجلخ ويصقل حتى يكون ناعم السطح ويقاوم التآكل ويصنع مجوفا كى يكون خفيف الوزن.

وهناك ثلاث طرق لتركيب بنز المكبس:

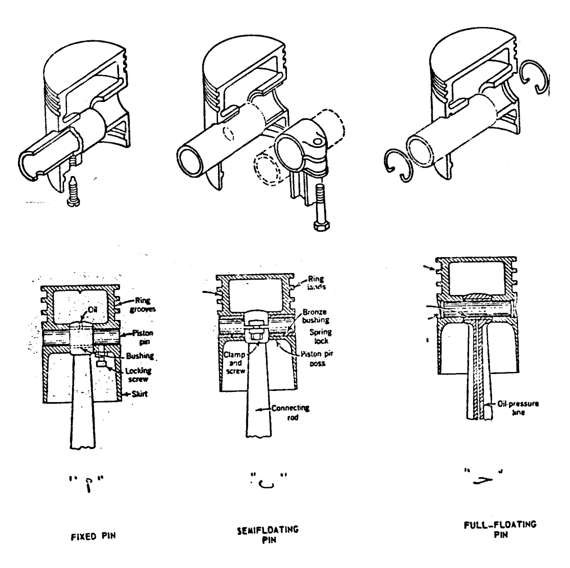
1- تركيبه بحيث يكون مثبتاً باحكام من نهايته فى تجويفه بالمكبس، وحر لينزلق فى النهاية الصغرى لذراع التوصيل (2-16أ).

2- تركيبه بحيث يكون مثبتاً باحكام فى النهاية الصغرى لذراع التوصيل، وحر من نهايته فى تجويفه بالمكبس. وفى هذه الحالة يثبت البنز فى النهاية الصغرى لذراع التوصيل ـــ أما بالكبس أو الربط بمسامير (شكل 2-16ب).

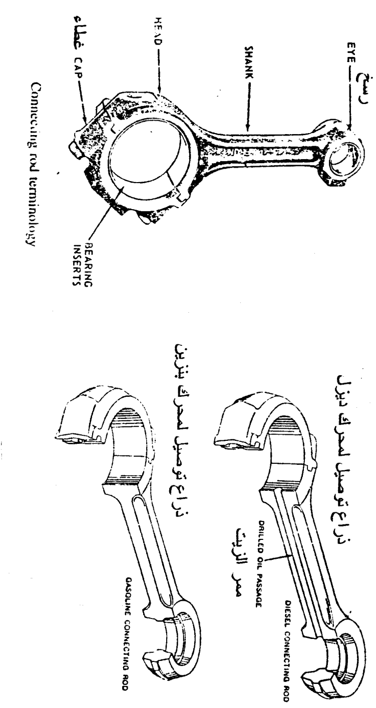
3- تركيبه بحيث يكون حر الحركة فى كل من تجويفى المكبس ونهاية ذراع التوصيل الصغرى. وفى هذه الحالة يعرف البنز باسم "البنز الكامل الطفو". ويجب منع البنز الكامل الطفو من الحركة الجانبية حتى لايتسبب فى إتلاف جدر الاسطوانة. ولذلك تستخدم حلقات الزق (شكل (3-16جـ).

ب- ذراع التوصيل Connecting Rod

هو الذراع الذى ينقل ضغط الغازات المؤثر على المكبس إلى عمود المرفق والحدافة ويثبت مفصليا فى بنز المكبس والمرفق، وبواسطة ذراع التوصيل **تتحول الحركة الترددية للمكبس إلى حركة دائرية على عمود المرفق، ويوضح شكل (2-17) أجزاء ذراع التوصيل، ويراعى فى صناعته غاية الدقة و المتانة حتى يتحمل الدفعات القوية الناتجة عن عملية الإحتراق دون أن يتعرض للانحناء،** ويصنع الذراع من الصلب السبائكى.



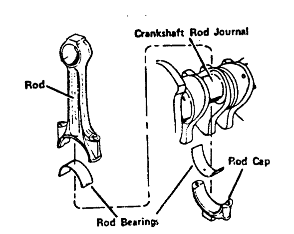
شكل (2-16): طرق تركيب بنز المكبس



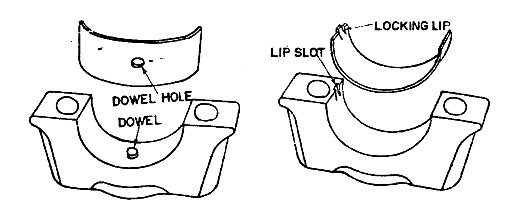
شكل (2-17): أجزاء ذراع التوصيل

ولذراع التوصيل نهاية صغرى كاملة تتصل بالمكبس بواسطة بنز المكبس ويوجد لذراع التوصيل نهاية كبرى تصل النهاية الكبرى لذراع التوصيل من نصفين يضمان بينهما سبيكة (مقسمة بدورها إلى قسمين) وتكون بمثابة كرسى محمول فوق بنز المرفق (شكل 2-18) وتحيط بالمرفق ونصفا النهاية الكبرى موصلان معا بواسطة مسامير ربط ذراع التوصيل، وتصنع سبيكة النهاية الكبرى لذراع التوصيل "اللقم" ***Main Bearing Shells*** من البرونز أو الصلب، ومبطنة بطبقة رفيعة من السبيكة البيضاء، ومثل هذه المعادن ذات مقاومة احتكاك قليلة وقادرة على تحمل الأحمال العالية وتصنع اللقم من نصفين أحدهما مع الذراع والأخرى مع الغطاء شكل (2-19) ويجب أن تكون اللقم مناسبة وموافقة تماما لتجويف نهاية الذراع وللحصول على هذه النتيجة توضع اللقم بحيث تكون أكبر فى القطر بمقدار يتراوح بين 0.0025 ، 0.005 سم عن قطر التجويف فعند تركيبها وربط الغطاء يكون هناك خلوص مقداره 0.0025 إلى 0.005 سم بين الغطاء والذراع وهذا الخلوص يجب كبسه بربط الصواميل بشدة حتى تكون اللقم ملاصقة تماماً لتجويف النهاية الكبرى، وهذا يعمل على سهولة وسرعة تسرب الحرارة من اللقم إلى جسم الذراع فيساعد ذلك على تبريدها باستمرار ويجب أن يكون هناك خلوص بين البنز والسطح الداخلى للقم مقداره 0.01 مم لكل سنتيمتر من قطر البنز لغرض التزييت كما يجب أن يكون هناك خلوص جانبى يتراوح بين 0.01 إلى 0.25 مم حتى لاتحتك اللقم بالجوانب عند تمددها بفعل الحرارة.

ومن الأهمية بمكان التركيب المضبوط لذراع التوصيل فى عمود المزمن لضمان التشغيل الصحيح للمحرك. فيجب أن يكون محورى بنز المكبس والمرفق متوازيين تماماً. وإذا أغفل ذلك عند التجميع فإن مساحة تحميل سبيكة مرفق ذراع التوصيل لا تتلامس مع الموفق إلا فى جانب واحد منه ومن ثم فإن السبيكة تتلف بسرعة.



شكل (2-18): تركيب ذراع التوصيل مع عمود الكرنك



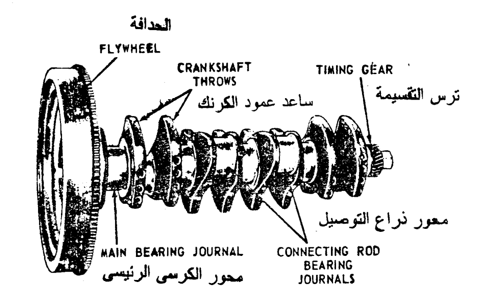
شكل (2-19): لقم النهاية الكبرى لذراع التوصيل

ويتم تزييت كل من نهايتى ذراع التوصيل بواسطة دفع الزيت خلال قنوات فى عمود المرفق إلى النهاية الكبرى لذراع التوصيل. ثم من خلال ثقب نافذ بطول ذراع التوصيل إلى النهاية الصغرى له وأحياناً قد يتم رش زيت التزييت على الجدار الداخلى للاسطوانة من خلال ثقب آخر بالنهاية الكبرى لذراع التوصيل وذلك اثناء حركة المكبس إلى أعلى.

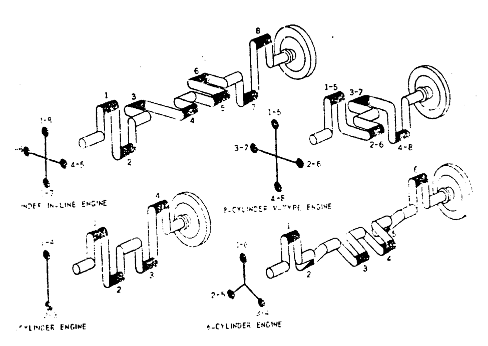
جـ- عمود المرفق (عمود الكرنك) *Crank Shaft*

يصنع عمود المرفق (شكل 2- 20) من الصلب النيكلى الكرومى أو الصلب المصبوب أو الصلب المطروق. مع تقوية السطح الخارجى بحيث يكون ذى مقاومة ميكانيكية عالية.

ويتوقف شكل عمود المرفق على عدد الاسطوانات للمحرك ويوضح شكل (2-21) أنواع التكسيحات لعمود الكرنك، فقد يكون ذا تكسيحة واحدة وذلك إذا كان المحرك ذا اسطوانة واحدة ويعيبه أنه غير متزن بسبب الذبذبه الناشئة عن القوة الناتجة عن دوران الفخذين والبنز ووجودها فى جهة واحدة ولتلافى ذلك توضع فى الجهة العكسية للبنز أثقال توازن. أو عمود مرفق ذو تكسيحتين الزاوية بينهما 180 ونظراً لوجود تكسيحة فى اتجاه معاكس يكون المحرك اكثر اتزاناً. ويستخدم هذا النوع فى المحركات ذو الإسطوانتين أو أربع اسطوانات. أما عمود الكرنك ذو أربع تكسيحات فيستخدم مع المحرك ذو 8 اسطوانات أما إذا كان المحرك ثلاث اسطوانات أو ست اسطوانات فيكون عمود المرفق ذو ثلاثة تكسيحات.



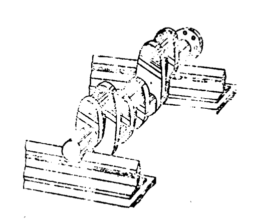
شكل (2-20): عمود الكرنك



شكل (2-21): تكسيحات عمود الكرنك حسب عدد الاسطوانات

ويركب عمود المرفق فى علبة المرفق على كراسى رئيسية وفى بعض الحالات يكون بنز المرفق مجوفاً حتى يخف وزنه. وبذلك يزيد عزم الدوران على عمود المرفق. ويجب تصميم عمود المرفق بحيث تكون الأثقال موزعة بانتظام حول محور العمود. وتعرف عملية معادلة تأثير القوى الناشئة من الأثقال باسم عملية الموازنة. ويوضح الشكل (2-22) كيفية موازنة العمود المرفقى وهو فى حالة السكون. فإذا ظل العمود المرفقى فى حالة سكون فى أى اتجاة وضع له فإنه يكون فى هذه الحالة موازياً موازية استاتيكية. ويجب عدم الاكتفاء باتزان الأعمدة المرفقية وهى فى حالة سكون وإنما ينبغى أن تكون متزنة كذلك أثناء دورانها متسببة فى عملية انتظام أو سلامة دوران المحرك فضلاً على التقليل من قدرته. وتعرف عملية موازية العمود المرفقى وهى فى حالة الدوران باسم الموازنة الديناميكية.

ويسرى زيت التزييت بصفة مستمرة خلال قنوات فى عمود المرفق إلى الكراسى المزودة بتجاويف للزيت، ويعمل الزيت الموجود فى هذه التجاويف على تكوين طبقة رقيقة على جدران الكراسى، كما أنه يقوم بتوصيل الزيت من هذه الرأس إلى النهاية الكبرى لذراع التوصيل ومنها إلى النهاية الصغرى للذراع. ويثبت فى النهاية الخلفية لعمود المرفق الحدافة، أما فى النهاية الأمامية له فيوجد تروس التوقيت وكذلك طارة ذات مجرى يركب فيها سير لإدارة مروحة تبريد المحرك ومضخة الماء وكذلك المولد الكهربائى، وقد يوجد مجرى إضافى فى الطارة تستخدم فى إدارة المضخة الخاصة بالتوجيه الهيدروليكى فى بعض المركبات، وقد يوجد أيضا مجرى آخر لسير إدارة الضاغط فى السيارات المزودة بتكييف الهواء.



شكل (2-22): موازنة عمود الكرنك وهو فى حالة سكون

د - الحدافـــة *Flywheel*

الحدافة عبارة عن عجلة من الصلب ثقيلة إلى حد ما، تتصل بالنهاية الخلفية لعمود الكرنك أى النهاية القريبة من صندوق تغيير السرعات. وتعمل الحدافة على اختزان كمية من طاقة الحركة التى تكتسبها فى شوط التشغيل، وإعطاء جزء من هذه الطاقة إلى باقى الأشواط (السحب - الضغط - العادم) ومن ثم فإنها تكفل الدوران المستمر للمحرك، وتعمل الحدافة أيضا على تنظيم السرعة، فإذا زادت قدرة المحرك عن القدرة المطلوبة فإن القدرة الزائدة تعمل على زيادة سرعة المحرك بمقدار يتوقف على مقدار القصور الذاتى للحدافة والأجزاء الأخرى ذات الحركة الدورانية وذلك لأن القدرة الزائدة على الحاجة تتحول إلى طاقة حركية للأجزاء الدورانية، وبالمثل عندما يزيد الحمل عن القدرة المتولدة من المحرك، فإن الأجزاء الدورانية تعطى طاقة حركية أثناء هبوط سرعتها.

وفى كلتا الحالتين تعمل الحدافة على تخفيض مقدار التغير فى السرعة، وتتناسب الطاقة الحركية للأجزاء التى تتحرك بحركة دورانية مع مقدار قصورها الذاتى وكذلك مع مربع سرعتها الدورانية، وكلما كبر وزن الحدافة وزاد قطرها زاد مقدار قصورها الذاتى، وعلى ذلك فالحدافة الكبيرة سوف تمتص المقدار الزائد

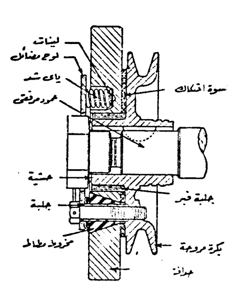
(فى صورة طاقة حركية لها) مع زيادة بسيطة فى سرعتها عن حدافة صغيرة وإذا كان هناك عجز فى قدرة المحرك فسوف يكون هناك هبوط أقل فى السرعة وبمعنى آخر فإن الحدافة الكبيرة تعمل على ثبات سرعة المحرك.

وكلما زاد عدد الأسطوانات كلما أمكن تقليل كتلة الحدافة بمعنى أن كتلة الحدافة تتناسب عكسيا مع عدد الاسطوانات، ويوجد على المحيط الخارجى للحدافة أسنان تعرف باسم ترس الحدافة، يعشق هذا الترس مع ترس البندكس المركب على محور المارش، كما يستخدم الوجه الخلفى للحدافة كعضو إدارة للقابض ***Clutch***.

ويلاحظ أنه أثناء تحرك المكبس إلى أسفل فى شوط التشغيل يعطى قوة هائلة إلى مرفق العمود المتصل به خلال ذراع التوصيل وتعمل هذه القوة على لى العمود المرفقى، وفى الواقع يلتوى العمود قليلاً. وعند وصوله لنهاية شوط التشغيل، يضعف الدفع على المرفق حتى أن العمود لكونه ملتوياً يحاول الرجوع إلى شكله الأصلى ويلتوى قليلاً فى الاتجاه المضاد. وحينئذ يعود العمود مرة أخرى إلى الاتجاه الآخر. وهذا ينشئ حركة تذبذبية تتكرر كل شوط تشغيل. فإذا لم يتحكم فى هذا الاهتزاز الالتوائى فسوف تستمر دفعات القدرة المتتابعة فى زيادة الذبذبات الأصلية للعمود، حتى أنه عند سرعات معينة قد ينكسر العمود بالالتواء الفائق الذى يتعرض له. وللتحكم فى هذا الاهتزاز الالتوائى يستعمل مانع الاهتزازات والموازنات الالتوائية أو معادلات دفع عزم دوران العمود المرفقى. وتركب هذه عادة فى النهاية الأمامية للعمود المرفقى. مع اتصال بكرة سير المروحة بها.

وتتكون موانع الاهتزازات (شكل 2-23) من حدافة المانع المركبة على بكرة سير المروحة بمخروطات من المطاط ويدير العمود المرفقى بكرة سير المروحة وبالتالى تدور حدافة المانع. وتحاول حدافة مانع الاهتزازات حفظ سرعة ثابتة وتضائل تذبذبات العمود المرفقى بفرض مقاومة خلال مخروطاتالمطاط وأوجه الاحتكاك عندما يحاول العمود المرفقى أن يتذبذب. فمثلاً إذا كان أحد أجزاء

العمود المرفقى ملتوياً فى اتجاه أمامى بسبب الاهتزازات الألتوائية، فأنه يكون حينئذ متحركاً أسرع من مانع الاهتزاز (وبقية العمود المرفقى). فيفرض مانع الاهتزاز مقاومة تعترض هذا الاسراع. وعلى العكس، إذا كان العمود المرفقى يتخلص من الألتواء، تدور النهاية حينئذ أبطأ من بقية العمود المرفقى. وهنا يفرض مانع الاهتزاز حركته الأسرع (يميل للدوران بانتظام) ولذا يعارض نزعة نهاية العمود المرفقى للإبطاء ولاحظ أن الألتواء (أو الاهتزازات الألتوائية) للعمرد المرفقى تكون حقيقة من مقادير متناهية فى الصغر، ومع ذلك فأنه بدون أن يفرض عليها بعض المقاومة قد تتكون الاهتزازات الالتوائية تحت ظروف معينة بدرجة كافية، فتسبب الكسر لعمود المرفق. أو على الأقل سيسبب ذلك خشونة دوران المحرك ما لم يقاوم بموانع اهتزازات من أى نوع كان.



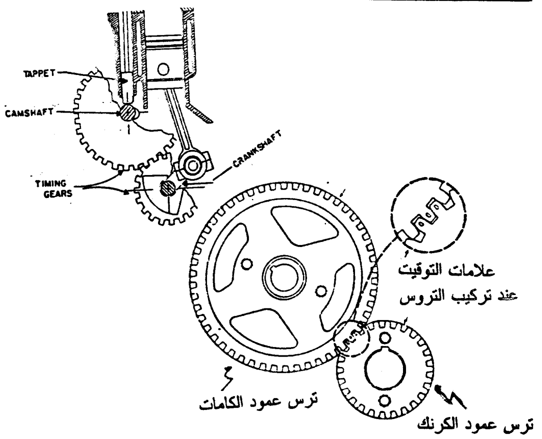
شكل (2-23): كاتم الاهتزازات *Vibratian Damper*

2- 3- مجموعة توقيت حركة الصمامات

تشتمل مجموعة توقيت حركة الصمامات على الأجزاء التالية: الكامات وعمود الكامات والصمامات وياياتها والأذرع المتأرجحة وأذرع الدفع وروافع التاكيهات. ولا تستخدم مجموعة توقيت حركة المحركات الثنائية الأشواط فيتم بواسطة فتح وغلق فتحات بجدران الاسطوانات.

أ – الكامات و عمود الكامات *Cams and Camshaft*

الكامة هى جهاز يمكن بواسطته تحويل الحركة الدائرية إلى حركة خطية أو فى خط مستقيم ، و يوجد بالكامة جزء بارز " أنف الكامة " وهناك تابع يستند على الكامة بحيث يقترب أو يبتعد عن محور عمود الكامات عند دوران الكامة (شكل 2-24). ويفتح ويقفل صماما السحب والعادم بواسطة الكامات الموجودة على عمود الكامات ويوجد على عمود الكامات كامة لكل صمام، أى أن هناك كامتين لكل اسطوانة، وبالإضافة إلى ذلك يوجد على الكامات ترس لإدارة مضخة الوقود وترس آخر لإدارة موزع الإشارة وطلمبة زيت التزييت، ويأخذ عمود الكامات حركته من عمود المرفق، إما بواسطة ترسين كما يوضح شكل (2-24)، أو بواسطة عجلات مسننة وجنزير ويحتوى الترس أو العجلة المسننة المركبة على عمود الكامات على عدد من الأسنان ضعف عدد الأسنان الموجودة على عمود المرفق، أى أن عمود الكامات يدور بسرعة تساوى نصف سرعة عمود المرفق، وعليه فكل لفتين من لفات عمود المرفق يقابلهما لفة واحدة لعمود الكامات. ويرتكز عمود الكامات على كراسى موجودة فى الجزء السفلى من جسم الاسطوانة وذلك فى المحركات ذات الاسطوانات المرتبة فى صف واحد، أما فى المحركات على شكل حرف V فإن عمود الكامات يوجد بين صفى الاسطوانات.



شكل (2-24): ترسى عمود الكامات وعمود الكرنك
علامة ضبط التوقيت على ترسى عمود الكامات وعمود الكرنك

ويفضل إنجاز حركة الصمام بسرعة وبشكل فجائى من حيث تأثيرها على قدرة المحرك بالرغم مما ينشأ عن ذلك من عيوب تتعلق بالتآكل الشديد وأصوات الخبط المرتفعة، لذلك يصمم شكل الكامة بحيث يمكن الحصول على السرعة التوافقية لها والرفع المتوازن للصمامات.

ـ (تابع الكامة) رافعة الصمام *CAM FOLLOWER*

تستعمل عادة وصلة بين ساق الصمام وعمود الكامات وتسمى رافعة الصمام أو تابع الكامة، وتعمل على رفع الصمام بتأثير أنف الكامة أثناء دورانها. وتوجد مسافة صغيرة بين النهاية السفلى لساق الصمام وتابع الكامة فى الوضع الذى يكون فيه الصمام مغلقا وتسمى هذه المسافة بالخلوص وإذا لم يترك هذا الخلوص

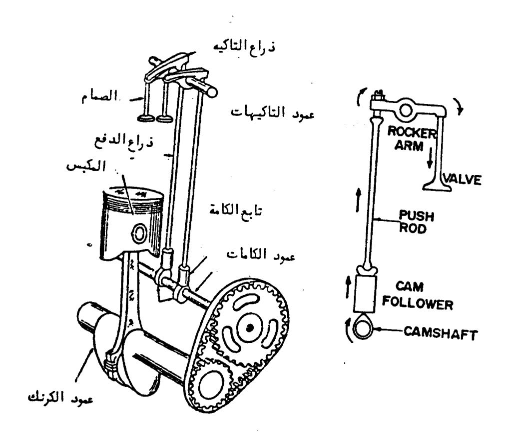
أدى إلى ارتكاز ساق الصمام فوق التابع نتيجة لتمدده بالحرارة، فيؤدى ذلك إلى عدم غلق الصمام غلقا تاما، مما يعمل على اضطراب عمل المحرك بفقد جزء من قدرته وزيادة استهلاك الوقود نتيجة هروب الشحنة خصوصا عند السرعة البطيئة.

ولو ضبط الخلوص والمحرك ساخن، فإنه يزيد عندما تنخفض درجة الحرارة ويؤدى إلى حدوث ضوضاء عند التشغيل، ولو ضبط الخلوص والمحرك بارد فربما انعدم عند ارتفاع درجة حرارته، وإذا كان مقدار الخلوص كبيرا لا يرتفع الصمام بالمقدار الكافى مما يؤدى إلى عدم كفاية الشحنة التى تدخل الاسطوانة فى مشوار السحب وبذلك تقل قدرته، وكذلك الحال فى صمام العادم فلا يستطيع تصريف غازات العادم بأجمعها ، ويكون نتيجة ذلك فتح الصمامات متأخرا وغلقها مبكرا وتقل فترة تصريف العادم وفترة الشحن، ولو كان الخلوص صغيرا لفتحت الصمامات مبكرا وأغلقت متأخرة وترتب على ذلك قصر فترة الانضغاط وقصر فترة التشغيل مما يؤدى إلى خفض فى قدرة المحرك.

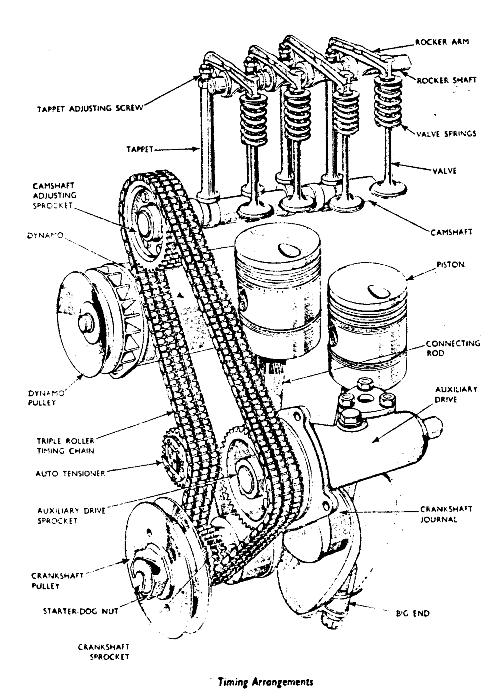
– ذراع الدفع والذراع المتأرجحة " التاكيه "

Push Rod & Rocker Arm

اذا كانت الصمامات من النوع العلوى وكان عمود الكامات داخل علبة المرفق كما يوضح شكل (2–25) وهو المتبع دائما، فتستعمل ساق دافعه ورافعة متأرجحة لتشغيل الصمامات فتعمل الكامة مع تابعها كالعادة ويرتكز على الكامة ذراع يؤثر على طرف رافعة متأرجحة فيدفعها إلى أعلى ويهبط طرفها الأخر إلى أسفل مؤثرا على ساق الصمام فيؤدى ذلك إلى فتحة ضد ضغط الياى. ويمكن ضبط الخلوص بواسطة مسمار الضبط فى طرف الرافعه المتأرجحة. أما فى المحركات التى تكون رأسها على شكل حرف L فيكون عمود الكامات أعلى المحرك كما يوضح شكل (2–26).



شكل (2-25): مجموعة توقيت فتح وغلق الصمامات



Timing Arrangements

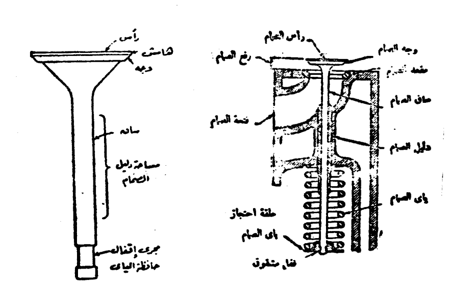
شكل (2-26): مجموعة توقيت فتح وغلق الصمامات

ب - الصمامات Valves

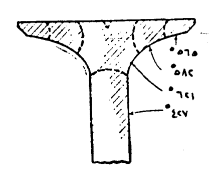
سبق أن ذكرنا أن لكل اسطوانة صمامين : صمام سحب و صمام عادم ووظيفة الصمامات هى ضبط دخول الغازات الجديدة و خروج غازات العادم ويجب أن تضمن الصمامات منع التسرب من غرف الاحتراق فى أثناء الإنضغاط والتمدد لتفادى حدوث أى انخفاض فى الضغط.

وقد استخدمت أنواع مختلفة من الصمامات فى الماضى، وتستعمل الآن الصمامات المخروطية، ويتكون الصمام من قرص "رأسى" وساق كما هو موضح بشكل (2-27) وقطر الرأس حوالى ثلث قطر الاسطوانة، وتصنع الصمامات إما من قطعة واحدة من الصلب النيكلى أو من الصلب التانجستانى، و يفضل الأخير لتحمله درجات الحرارة العالية.

ويعمل صمام السحب وهو بارد نسبيا حيث أنه يسمح بمرور مخلوط الهواء والوقود فى محركات البنزين أو هواء فقط فى محرك الديزل، ولكن صمام العادم تمر عليه غازات العادم ذات درجات الحرارة العالية، وقد يحدث أن ترتفع درجة حرارة صمام العادم من شدة الحرارة إلى درجة الإحمرار، ويبين شكل (2-28) توزيع درجات الحرارة على صمام العادم أثناء إدارة المحرك. ويلاحظ أن ساق الصمام هو أبرد جزء فيه ثم يليه بعد ذلك الجزء من الصمام القريب من وجهه وذلك لأن ساق الصمام ينقل الحرارة إلى دليل الصمام مما يساعد على حفظ ساق الصمام باردا نسبيا، وكذلك ينقل وجه الصمام الحرارة إلى قاعدة الصمام مما يساعد على بقاء وجه الصمام باردا نسبيا، لذا يجب تبريد دليل الصمام وقاعدته ولضمان وجود تبريد جيد لهذه الأجزاء يوجد فى أكثر الحالات أنابيب لتوزيع ماء التبريد بداخل جسم الاسطوانة فى المحركات ذات الرأس L وتستعمل نافورات فى داخل جسم الاسطوانة فى المحركات ذات الرأس I وتعمل هذه الأنابيب والنافورات على زيادة كمية مياه التبريد، ومن ثم تبريد الأجزاء ذات درجات الحرارة العالية.

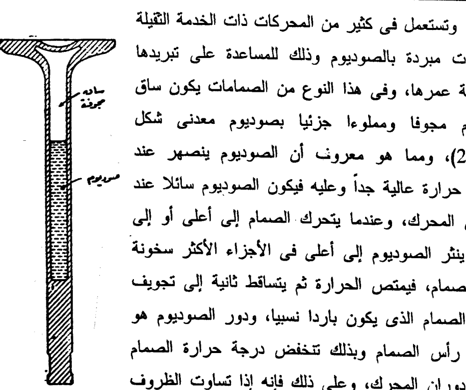


شكل (2-25): الصمام المخروطى



شكل (2-26): توزيع درجات الحرارة على صمام العادم

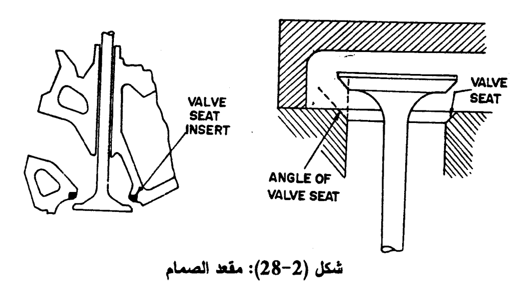
وتستعمل فى كثير من المحركات ذات الخدمة الثقيلة صمامات مبردة بالصوديوم وذلك للمساعدة على تبريدها ولإطالة عمرها، وفى هذا النوع من الصمامات يكون ساق الصمام مجوفا ومملوءا جزئيا بصوديوم معدنى شكل (2-27)، ومما هو معروف أن الصوديوم ينصهر عند درجة حرارة عالية جداً وعليه فيكون الصوديوم سائلا عند دوران المحرك، وعندما يتحرك الصمام إلى أعلى أو إلى أسفل ينثر الصوديوم إلى أعلى فى الأجزاء الأكثر سخونة من الصمام، فيمتص الحرارة ثم يتساقط ثانية إلى تجويف ساق الصمام الذى يكون باردا نسبيا، ودور الصوديوم هو تبريد رأس الصمام وبذلك تنخفض درجة حرارة الصمام أثناء دوران المحرك، وعلى ذلك فإنه إذا تساوت الظروف يكون عمر الصمام المبرد بالصوديوم أطول من عمر الصمام الأصم.



شكل (2-27)
صمام العادم مبرد بالصوديوم

ـ مقعد الصمام valve seat

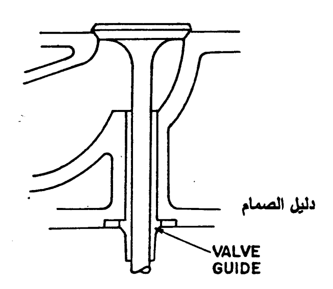
لتحقيق الفعل المناسب لمنع التسرب فإن ذلك يتوقف على وجود مقعد مضبوط ومناسب للصمام فى غرف الاحتراق، وتميل حواف مساحة منع التسرب أو مساحة مقعد الصمام بزاوية 45 أو 30 درجة. ويتعرض مقعد صمام العادم لغازات العادم ذات درجات الحرارة العالية ولهذا السبب يصنع مقعد صمام العادم فى كثير من المحركات من نوع خاص من الصلب المقاوم لدرجة الحرارة العالية، ويصنع مقعد الصمام على شكل حلقة توضع بالضغط الشديد فى مكانها كما يوضح شكل (2-28) وتتحمل هذه الحلقة ظروف العمل أكثر من معدن رأس الاسطوانة، وبالإضافة إلى ذلك يمكن تغيير هذه الحلقة بسهولة عندما يزيد تآكلها بدرجة لا يمكن إصلاحها بواسطة تجليخ مقعد الصمام.



شكل (2-28): مقعد الصمام

ـ دليل الصمام Valve guide

هو الجزء الذى يحيط بساق الصمام ويعمل على حفظه فى وضع محورى مع محور فتحة الصمام، ويصنع الدليل من الزهر الرمادى المصبوب، ويثبت بالضغط فى جسم الاسطوانة أو برأس الاسطوانة، ويمكن تغييره عند تآكله عن الحد المسموح به ويوضح شكل (2-29) دليل الصمام، حيث تنزلق ساق الصمام فى دليله لضمـــان الأداء السابق للصمام، ويعمل دليل الصمام وخاصة دليل صمام العادم على تبريد الحرارة وتسريبها، وهذا هو السبب فى ضرورة الاهتمام بصفة خاصة بمقدار الخلوص فى ساق الصمام، فإذا كان الخلوص بين الساق والدليل زائدا عن الحد المقرر له، ففى هذه الحالة تقل كمية الحرارة المتبادلة كما يصبح توجيه الصمام غير مضبوط ويصبح منع التسرب فى غرفة الاحتراق غير كاف، ومن ناحية أخرى إذا كان مقدار هذا الخلوص أقل من الحد المقرر له فقد تلتصق ساق الصمام ويبلغ الخلوص بين ساق الصمام وبين دليله عادة من 0.04 إلى 0.09 مم.



شكل (2-29): دليل الصمام

ـ ياى الصمام

تقوم مجموعة توقيت الحركة بفتح الصمامات، بينما يتم قفلها بواسطة اليايات، وياى الصمام عادة حلزونى يركب حول ساق الصمام ويصنع الياى من الصلب الجيد وتتعرض يايات الصمامات لإجهادات كبيرة نتيجة لارتفاع درجات الحرارة، فضلا عن حركتها السريعة والمتواصلة، ومن ثم فإنها قد تصبح ضعيفة أو ربما تنكسر بعد فترة طويلة من التشغيل.

ولضمان الإحكام الجيد ضد تسرب الغازات يجب أن يكون هناك تلامس جيد وكامل (تخديم) بين وجه الصمام أى مساحة الارتكاز عند قرص الصمام وبين مساحة مقعد الصمام الموجود فى غرفة الاحتراق. معظم المحركات يستعمل فيها ياى واحد لكل صمام وأحيانا يستعمل يايان أو ثلاثة كل منهم داخل الآخر والغرض من استعمال يايات متعددة هو استعمال أسلاك رفيعة لكل ياى ولضمان توزيع الضغط حول الصمام عما لو استعمل ياى واحد.

ويجب أن يكون الياى ذو مرونة مناسبة، كما يجب أن يؤثر الياى بضغط متساوى حول محيط الصمام، فالضغط غير المتساوى يؤدى إلى حدوث تآكل فى جانب واحد من دليل وقاعدة ورأس الصمام فتصبح غير دائرية ولتلافى ذلك يسمح للصمام بالدوران قليلا فى كل مرة يفتح فيها وذلك لتوزيع التآكل وعدم تركيزه فى موضع واحد.

الباب الثالث

نظرية عمل

محركات الأحتراق الداخلى

الباب الثالث

نظرية عمل محركات الأحتراق الداخلى

3-1- مقدمة

فى محركات الاحتراق الداخلى يستفاد مباشرة من الطاقة المختزنة فى الوقود لأداء الشغل. وينبغى أن يكون وقود محركات الاحتراق الداخلى سهل الاشتعال أما فوريا أو بعد قدر محدود من الارتفاع فى درجة الحرارة. وفى عملية الاحتراق تتكون غازات تتمدد بسرعة فى كل الاتجاهات. ويستفاد من هذه العملية الخاصية إلى أقصى حد فى المحرك لتحويل الطاقة الكيميائية المختزنة فى الوقود إلى طاقة ميكانيكية عن طريق الاحتراق.

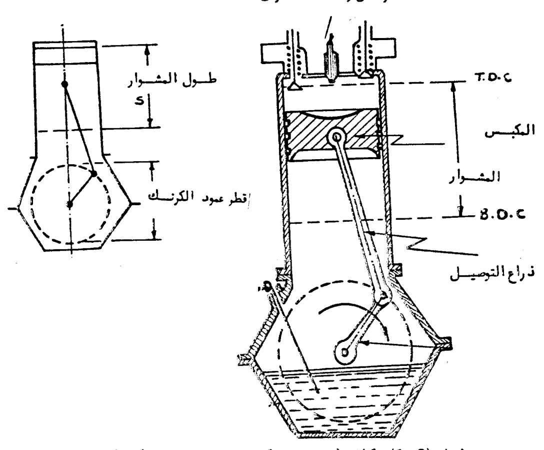
كما سبق شرحه تزود كتلة الاسطوانات *Block Cylinders* بعدة تجاويف إسطوانية الشكل تسمى اسطوانات *Cylinders* وتغلق عند قمتها برأس الاسطوانات *Cylinder head* الذى يحتوى كذلك على غرف الأحتراق. وتحتوى كل اسطوانة على مكبس يتصل بذراع التوصيل *Connecting rod* عن طريق مسمار خاص يسمى بنز المكبس *Piston pin* ويتصل الطرف السفلى لذراع التوصيل، وهو المعروف باسم النهاية الكبرى لذراع التوصيل، بالعمود المرفقى *Crankshaft* بطريقة تمكنه من التحرك على بنز المرفق، ويتحرك المكبس إلى أسفل موضع له عندما يتم العمود المرفقى نصف لفة، وبهذه الكيفية ينشأ السحب فوق المكبس. وباستمرار دوران عمود المرفق يتحرك المكبس إلى أعلى ضاغطا الشحنة فترتفع درجة حرارتها وتعرف هذه العملية باسم عملية الانضغاط. ولضمان إتمام عملية الاحتراق ينبغى اشتعال الوقود فى غرفة الاحتراق لتتمدد الغازات الناتجة من احتراقه ضاغطة على المكبس فتدفعه إلى أسفل.

3-2- بعض التعاريف الأساسية *Basic Definitions*

3-2-1 القطر والمشوار *Bore and Stroke*

تعرف أعلى نقطة يصل عندها المكبس خلال تحركه بالنقطة الميتة العليا (ن. م. ع) *Top Dead Center T.D.C*. كما تعرف أسفل نقطه يصل إليها المكبس خلال تحركه بالنقطة الميتة السفلى (ن. م. س) *Bottom Dead Center B.D.C*.

يعرف المشوار *Stroke* على أنه المسافة التى يتحركها المكبس من النقطة الميتة العليا إلى النقطة الميتة السفلى. ونلاحظ أن طول مشوار المكبس يساوى قطر دائرة عمود الكرنك شكل (3-1). ويحدث دوران لعمود الكرنك يعادل 180° لكل شوط.



شكل (3-1): قطاع فى اسطرانة محرك مبين عليها أهم أبعادها

ـــ أبعاد اسطوانة المحرك

يعبر عليها عادة بـــ (القطر × المشوار) وعندما يذكر رقمان لأبعاد الاسطوانة، فالرقم الأول هو القطر والثانى هو طول المشوار. فمثلا اسطوانة محرك (100× 110مم) يعنى أن قطر الاسطوانة 100مم وطول المشوار 110مم. وفيما يلى أقطار الأسطوانه للمحركات المختلفه (بالمم):

- محرك بنزين للسيارات 60 ـــ 100 مم
- محرك بنزين للمركبات النقل 70 ـــ 100 مم
- محرك جرار ديزل 70 ـــ 150 مم
- محرك سيارة ديزل 80 ـــ 130 مم

ـــ النسبة بين القطر والمشوار:

ليس هناك علاقة قياسية بين قطر الاسطوانة وطول المشوار ولكن عموما يتراوح طول المشوار من 0.7 إلى 1.4 من القطر. المحركات التى يكون فيها طول المشوار أكبر من القطر، يقال عنها أنها محركات طويلة المشوار *Long Stroke engine*. فى المحركات المتعددة الاسطوانات وذات السرعة العالية *High- Speed engines* يكون طول المشوار أقل من قطر الاسطوانة وبالتالى يكون نسبة المشوار إلى القطر أقل من واحد وذلك للأسباب الأتية:

1- يمكن تخفيض كمية المعدن اللازمة لتصنيع المحرك. وبالتالى تقل النسبة بين وزن المحرك والقدرة أو ما يعرف بالوزن النوعى للمحرك.

2- صغر قطر الكرنك وبالتالى تخفيض عزم القصور الذاتى وبالتالى تخفيض الأهتزازات عند السرعات العالية.

3- تقليل سرعة المكبس ومساحة تلامس الشنابر عند أى سرعة دوران للمحرك. وهذا يعنى فى الحقيقة تقليل تآكل جدار الاسطوانة والشنابر.

وفيما يلى نسبة المشوار إلى قطر الاسطوانة لأنواع مختلفة من المحركات:

- محرك بنزين 0.7 إلى 1.0
- محرك سيارة ديزل 0.9 إلى 1.2
- محرك جرار ديزل 1.1 إلى 1.3

3-2-2- حجم الخلوص "V_s" The Clearance Volume

هوحجم فوق سطح المكبس عندما يكون المكبس عند النقطة الميتة العليا، وهذا الحيز يطلق عليه أيضا اسم غرفة الاحتراق *Combustion Chamber*.

3-2-3- إزاحة المكبس *Piston Displacement*

إزاحة المكبس هى الحجم الذى يزيحه المكبس عند حركته من أعلى الى أسفل نقطة داخل الاسطوانة أى من النقطة الميتة العليا *T.D.C* إلى النقطة الميتة السفلى *B.D.C*. وتعرف إزاحة المكبس أيضا بحجم المشوار **Vs** وهو الحجم بين النقطة الميتة العليا *T.D.C* والنقطة الميتة السفلى *B.D.C*.

$$V_S = \frac{\pi}{4} D^2 \;.S \qquad (3-1)$$

حيث : V_s = حجم المشوار سم^3 *Stroke Volume, cm^3*

D = قطر الاسطوانة سم *Cylinder diameter,* cm

S = طول المشوار للمكبس سم *Piston Stroke, cm*

3-2-4- سعة المحرك *Engine Displacement*

تعرف سعة المحرك بأنها حجم الإزاحة الكلى للمحرك.

$$V_e = V_S.n \qquad (3-2)$$

حيث:

V_e = حجم إزاحة المحرك (سعة المحرك) سم^3 *Engine displacement (m^3)*

V_s - حجم المشوار سم^3 *Stroke volume (cm^3)*

n - عدد الاسطوانات *number of cylinders (-)*

ويعبر عن الإزاحة بالسنتيمتر المكعب (CC) فى المحركات الصغيرة (أقل من 1000سم^3)، أما فى المحركات الكبيرة (أكبر من 1000 سم^3) فيعبر عنه باللتر (فمثلاً سعة 1400سم^3 يطلق عليها 1.4 لتر).

3-2-5- نسبة الإنضغاط (الكبس) *The Compression Ratio C.R*

تعرف نسبة الإنضغاط (الكبس) على أنها النسبة بين الحجم الذى يصل إليه المكبس عند وصوله إلى النقطة الميتة السفلى إلى الحجم الذى يصل إليه المكبس عند وصوله إلى النقطة الميتة العليا.

$$C.R=\frac{V_c+V_s}{V_c}=1+\frac{V_s}{V_c} \qquad (3-3)$$

حيث:

V_c= حجم الخلوص سم^3 *Clearance Volume,cm^3*

V_s =حجم المشوارسم^3 *Stroke Volume,cm^3*

$$V_s=\frac{\pi}{4}D^2S$$

وهذه النسبة تتراوح فى محركات الإشتعال بالشرارة (بنزين) من1:4 إلى 12 : 1 فإذا انخفضت هذه النسبة عن 4 : 1 كان هناك صعوبة فى إحداث عملية الاشتعال للوقود لأن درجة حرارة المخلوط تعتمد على نسبة الكبس، وينتج عن ذلك اشتعال غير كامل للوقود. أما نسبة الكبس العالية فهى غير مرغوبة الى حد معين حتى لا يؤدى إلى أشتعال مفاجىء للمخلوط قبل وصول المكبس إلى نهاية المشوار وحدوث ظاهرة التصفيق فى المحرك، وبالتالى يحدث فقد فى القدرة المتولدة. أما نسبة الكبس فى محركات الديزل فتتراوح بين 14 : 1 الى 22 : 1 وتحدث هذه النسبة العالية لأن بسبب زيادة ضغط الهواء يزيد من سهولة وسرعة احتراق الوقود عند حقنه. ولكن فى نفس الوقت تحتاج نسبة الكبس العالية إلى قوة تحمل عالية

للمراد المصنع منها أجزاء المحرك مما يزيد من ثمن محرك الديزل إذا ما قورن بمحرك بنزين مساوى له فى القدرة الناتجة منه.

3-3- ديناميكا المحرك Dynamics of Engine

تتأثر عملية الاحتراق والقدرة الناتجة بخواص الحركة الترددية للمكبس أو بمعنى آخر أن يمكن تحديد أبعاد الاسطوانة وذراع التوصيل طبقاً لاحتياجات الدورة الحرارية. وسوف نعرض فيما يلى خواص الحركة الترددية للمكبس من حيث الإزاحة والسرعة والعجلة.

3-3-1- حركة المكبس داخل الاسطوانة Piston Travel

يتحرك المكبس حركة ترددية داخل الاسطوانة. ويمكن إيجاد أزاحة المكبس كدالة فى زاوية الكرنك وذلك بإستخدام الرموز الموجودة بشكل (3-2) على النحو التالى:

$$S_x = (l_{rod} + R) - (l_{rod}\cos\beta + R\cos\phi)$$

$$S_x = R\left[(1-\cos\phi) + \frac{1}{h}(1-\cos\beta)\right] \qquad (3-4)$$

شكل (3-2)

حيث:

S = مقدار إزاحة المكبس (Piston travel)

R = نصف قطر الكرنك (Crank radius)

h = النسبة بين قطر الكرنك وطول ذراع التوصيل

(Ratio between Crank radius and connecting rod length R/l_{rod})

ϕ = زاوية حركة الكرنك وتحسب بين محور الاسطوانة وعمود الكرنك فى إتجاه عقارب الساعة (Angle of crank travel)

β = الزاوية المحصورة بين ذراع التوصيل ومحور الاسطوانة

(Angle between the connecting rod and cylinder axis)

وحيث أن:

$$Cos\beta = 1 - \frac{1}{2}h^2 \sin^2\phi - \frac{1}{2\times4}h^4 \sin^4\phi \qquad (3-5)$$

وبالتعويض فى المعادلة (3-4) عند قيمة $\cos\beta$

$$S_x = R\left[(1-\cos\phi) + \frac{1}{h}(1-1+\frac{1}{2}h^2\sin^2\phi)\right]$$

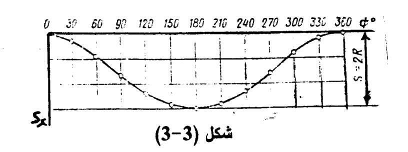
$$S_x = R\left[(1-\cos\phi) + (\frac{h}{2}\sin^2\phi)\right]$$

$$S_x = R\left[(1-\cos\phi) + \frac{h}{4}(1-\cos2\phi)\right] \qquad (3-6)$$

$$at\ \phi=90^\circ \qquad S_x = R(1+\frac{h}{2})$$

$$\phi=180^\circ \qquad S_x = 2R = S$$

ويبين شكل (3-3) التغير فى أزاحة المكبس S_x مع زاوية عمود الكرنك.



شكل (3-3)

2-3-3 سرعة المكبس داخل الاسطوانة Piston Velocity

سرعة المكبس υ_p يمكن إيجادها بتفاضل حركة المكبس.

$$\upsilon_p = \frac{dS_x}{dt} = \frac{dS_x}{d\phi} \cdot \frac{d\phi}{dt} \qquad (3-7)$$

$$\upsilon_p = R\omega(\sin\phi + \frac{h}{2}\sin 2\phi) \qquad (3-8)$$

$$at\ \phi = 0^{o}\ \ or\ \ \phi = 180^{o} \quad \upsilon_p = 0$$

$$at\ \phi = 90^{o} \quad \upsilon_p = R\,\omega$$

$$at\ \phi = 270^{o} \quad \upsilon_p = R\,\omega$$

أقصى سرعة للمكبس The maximum piston velocity

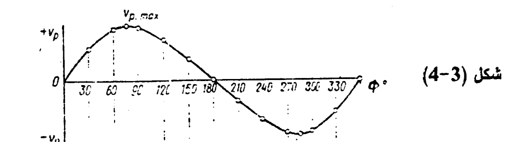
$$\upsilon_p \max = R\omega(1 - \frac{h^2}{2}) \qquad (3-9)$$

$$\approx R\omega\sqrt{1+h^2} \qquad (3-10)$$

وتحدث أقصى سرعة للمكبس عند زاوية عمود الكرنك.

$$\phi = 90^{\circ} - 57.3^{\circ}\,h \qquad (3-11)$$

ويوضح شكل (3-4) التغير في سرعة المكبس مع زاوية عمود الكرنك.



شكل (3-4)

3-3-3- السرعة المتوسطة للمكبس The Mean Piston Velocity

$$\upsilon_{pm} = \frac{2SN}{60} \qquad (3-12)$$

$$\upsilon_{pm} = \frac{SN}{30} = \frac{2\omega R}{\pi} \qquad (3-13)$$

حيث: S = المشوار Stroke

N = سرعة عمود الكرنك The rate of crankshaft rotation

$$\frac{\upsilon_{p\max}}{\upsilon_{pm}} = \frac{\pi}{2}\sqrt{1+h^2} \qquad (3-14)$$

$$at \quad h = 0.24 \, to \, 0.31$$

$$\upsilon_{p\max} \cong 1.62 \, to \, 1.64 \, \upsilon_{pm}$$

وفيما يلى القيم التقريبية للسرعة المتوسطة للمكبس (متر/ثانية) لبعض المحركات

2 - 15	Carburettor engines for cars.	محرك سيارات بنزين
9 – 2	Carburettor engines for truck.	محرك سيارات
6.5 - 12	Automole diesel engine.	محرك ديزل
5.5 - 10.5	Tractor diesel engine.	محرك ديزل الجرار
3 - 6	Marine slow speed diesel engine.	محرك سفينة

وبتغير سرعة المكبس المتوسطة يتأثر فاقد الإحتكاك وفاقد التبريد، فمثلاً عندما تزداد السرعة المتوسطة للمكبس يحدث ما يلى:

1- تزداد الإثارة Turbulence وكذلك الضغط الأقصى داخل اسطوانة المحرك لأن الاحتراق سيتم بسرعة.

2- يزداد الاحتكاك بين المكبس والاسطوانة مما يولد كميات كبيرة من الحرارة لابد من إمتصاصها.

3- تؤثر حرارة الإحتكاك على زيت التزييت وتقل لزوجته مما يؤثر على كفاءة التزييت.

4- يزيد معامل انتقال الحرارة من الغازات الساخنة داخل الاسطوانة إلى الوسيط المبرد مما يزيد من كمية فاقد التبريد.

3-3-4- عجلة المكبس The Piston Acceleration

بتفاضل معادلة سرعة المكبس بالنسبة للزمن يمكن الحصول على عجلة المكبس.

$$a_p = \frac{d\upsilon_p}{dt} = \frac{d\upsilon_p}{d\phi} \times \frac{d\phi}{dt} \qquad (3-16)$$

$$a_p = R\omega^2(\cos\phi + h\cos 2\phi) \qquad (3-17)$$

وأقصى قيمة لعجلة المكبس The maximum acceleration

$$a_{max} = R\omega^2(1+h) \qquad (3-18)$$

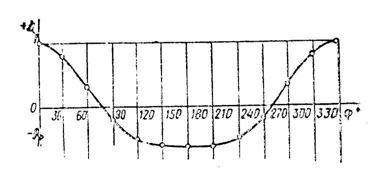
$Where\ h<0.25 \quad at\ \phi^\circ = 180$

$$a_{max} = -R\omega^2(1-h) \qquad (3-19)$$

$h<0.25 \quad at\ \phi^\circ = \arccos(-h/4)$

$$a_{min} = -\omega^2 R[h + 1/(8h)] \qquad (3-20)$$

ويوضح شكل (3-5) التغير في العجلة مع زاوية عمود الكرنك



شكل (3-5)

3-4- الدورة الحرارية:

تعرف سلسلة العمليات التى تحدث فى اسطوانة المحرك باسم الدورة الحرارية، وهناك محركات تتم فيها الدورة الحرارية خلال أربعة أشواط من المكبس وتسمى محركات رباعية الأشواط، ومحركات تتم فيها الدورة الحرارية خلال شرطين من المكبس وتسمى محركات ثنائية الأشواط. وهناك طريقتان لعملية الاشتعال:

الطريقة الأولى: تستخدم خليط الوقود والهواء حيث يدخل الخليط إلى الاسطوانة نتيجة السحب الذى يحدثه المكبس فى أثناء حركته إلى أسفل عن طريق صمام السحب وبمجرد اقتراب المكبس مرة ثانية من النقطة الميتة العليا ***TDC*** ينغلق صمام السحب. وبالتالى ينضغط عليه الوقود والهواء فى حيز الانضغاط. ويشتعل الخليط بواسطة شرارة كهربائية. فتدفع الغازات المتمددة المكبس مرة أخرى إلى أسفل حتى النقطة الميتة السفلى (شكل3-6). وتسمى محركات الاحتراق الداخلى التى تتبنى فكرة عملها على هذا المبدأ باسم محركات البنزين أو محركات الاشتعال بالشرارة أو محركات البنزين وفيها يستخدم البنزين كوقود سريع التطاير، ويعمل أيضا تحت نفس الفكرة - محركات الكيروسين ومحركات الغاز، والمحركات المشتركة (غاز أو بنزين).

الطريقة الثانية: هناك محركات يعتمد عملها على مبدأ آخر، وفيها يسحب الهواء إلى الاسطوانة. ثم يضغط بنسبة انضغاط مرتفعة نتيجة تحرك المكبس إلى أعلى فينتج عن ذلك ارتفاع كبير فى درجة الحرارة. ويدفع الوقود عن طريق فوهة الحقن "الرشاش" إلى غرفة الاحتراق، حيث يختلط بالهواء المضغوط الموجود بها، فيشتعل هذا الخليط تلقائيا نتيجة للحرارة العالية الناشئة من الانضغاط. وتتمدد الغازات الناتجة من الاحتراق فتدفع أمامها المكبس ليؤدى شغله (شكل3-7). وتسمى المحركات التى تبنى فكرة عملها على هذا المبدأ باسم محركات الاشتعال بالضغط أو محركات الديزل. ويوجد محركات تعرف باسم المحركات المختلطة (غاز - ديزل) تتبع هذه الفكرة فى تشغيلها.

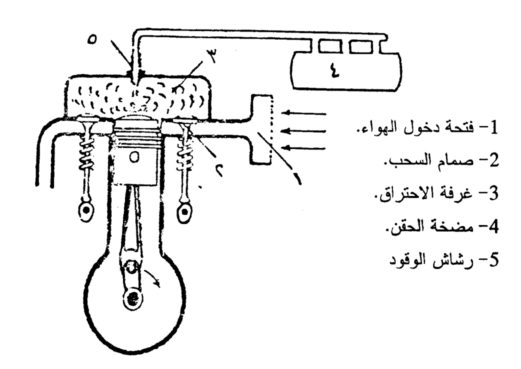
1- فتحة دخول الهواء.

2- خلط الهواء مع الوقود الوارد من المغذى.

3- المغذى.   4- غرفة الاحتراق.

5- شمعة الاشتعال.

شكل (3-6): نموذج لمحرك يعمل على سحب خليط من الوقود والهواء



1- فتحة دخول الهواء.

2- صمام السحب.

3- غرفة الاحتراق.

4- مضخة الحقن.

5- رشاش الوقود

شكل (3-7): نموذج لمحرك يعمل على سحب الهواء فقط

3-4-1- الدورة الحرارية للمحركات رباعية الأشواط

أ- محركات الاشتعال بالشرارة *Spark Ignition Engine*

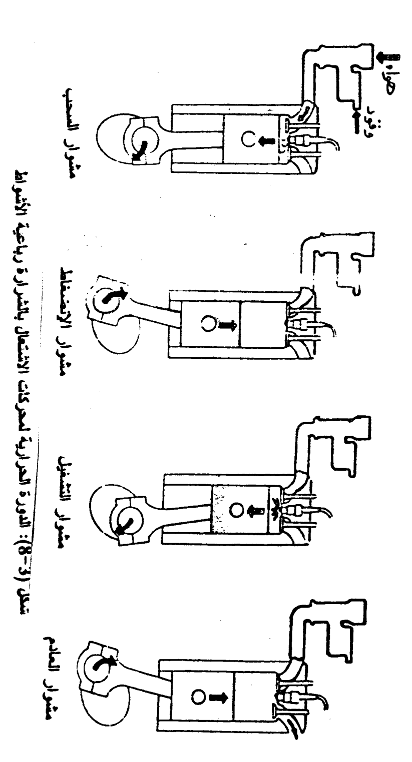
وتسمى محركات البنزين أو محركات أوتو ***Otto*** نسبة إلى العالم الألمانى أوتو الذى اكتشف هذه الدورة. وتستخدم وقود البنزين فى المحركات. ولتوضيح تلك الدورة مع محرك مكون من اسطوانة واحدة فقط وعليه يمكن إجراء الدورة الحرارية فى هذه الاسطوانة ويوضح شكل (3-8) حركة المكبس أثناء الأشواط الأربعة. كما يوضح شكل (3-9) منحنى التغير فى الضغط والحجم داخل الاسطوانة أثناء الأشواط الأربعة.

- شوط السحب *Intake Stroke*

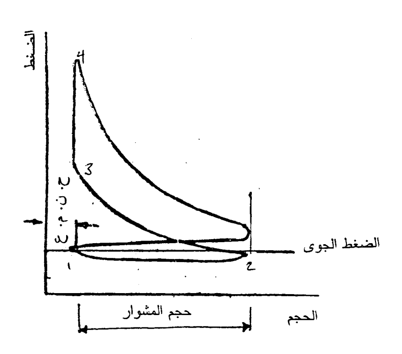
وفيه تتم حركة المكبس ابتداء من النقطة الميتة العليا متجها إلى أسفل وفى هذا الوقت يكون صمام السحب مفتوح والذى يندفع من خلاله إلى الاسطوانة مخلوط الهواء والبنزين والذى تم خلطه مسبقا خارج الاسطوانة فى جهاز خلط الوقود بالهواء والذى يسمى بالمغذى (الكاربوراتير *Carburator*) حتى يصل المكبس إلى النقطة الميتة السفلى. ونظريا المفروض أن الضغط داخل الاسطوانة يساوى الضغط الجوى ولكن نتيجة حركة المكبس السريعة إلى أسفل ووجود فتحة صغيرة حول صمام السحب ينتج عنها تفريغ داخل الاسطوانة مما يؤدى إلى انخفاض الضغط أقل قليلا من الضغط الجوى وكما هو واضح فى شكل (3-9).

- شوط الضغط *Compression Stroke*

فى هذا الشوط يكون صمام السحب مغلق ويتحرك المكبس من النقطة الميتة السفلى متجها إلى أعلى. ونتيجة حركة المكبس إلى أعلى يقل حجم المخلوط ويزداد الضغط داخل الاسطوانة الخط 2-3 فى منحنى الضغط والحجم وبالتالى



شكل (3-8): الدورة الحرارية لمحركات الاشتعال بالشرارة رباعية الأشواط



شكل (3-9): منحنى التغير فى الحجم والضغط للدورة الحرارية لمحركات الاشتعال بالشرارة رباعية الأشواط

ترتفع درجة حرارته على حسب القانون العام للغازات. وتكون درجة الحرارة فى نهاية هذا الشوط أقل بقليل من درجة الاشتعال الذاتى للمخلوط. ويمكن المساعدة على عملية الاشتعال تحت حجم ثابت بإعطاء شرارة كهربائية من شمعة الاشتعال، ويتم الاشتعال تحت حجم ثابت الخط 3-4 (شكل 3-9) وينتج عن عملية الاشتعال غازات تحت ضغط عالى تحاول أن تضغط على سطح المكبس لتحوله إلى أسفل.

- شوط التشغيل *Power Stroke*

ويسمى أحيانا بشوط التمدد. فنتيجة لضغط الغازات الناتجة عن عملية الاشتعال تتولد قوة كبيرة على سطح المكبس تحاول أن تحركه من النقطة الميتة العليا إلى النقطة الميتة السفلى (الخط 4-5). وهذا هو الشوط المفيد فى الدورة الحرارية والتى يستفاد به فى إدارة عمود الكرنك. والمفروض أن يستفاد بجزء من

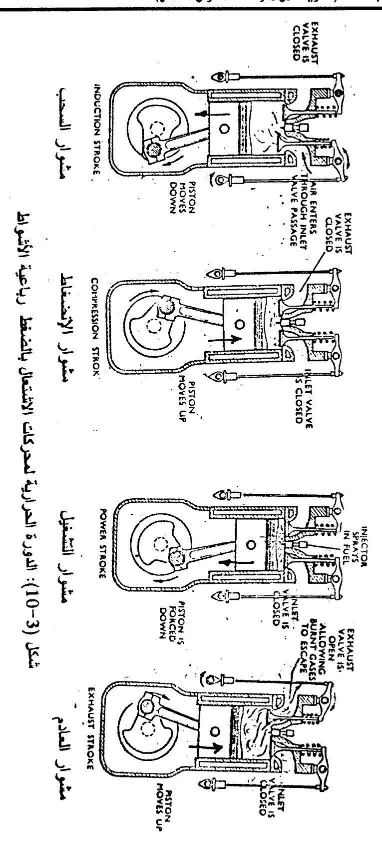
هذه الطاقة فى تشغيل الأشواط الأخرى (العادم- السحب- الضغط) كما سيتضح فيما بعد.

– شوط العادم ***Exhaust Stroke***

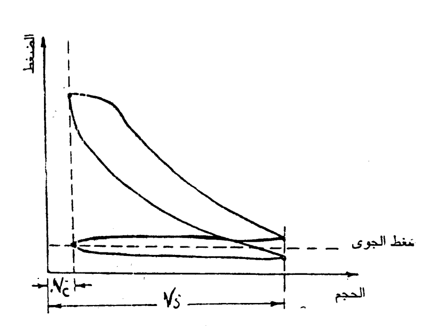
نتيجة عملية اشتعال الوقود داخل الاسطوانة تتولد عنها غازات يجب التخلص منها أو يمكن الاستفادة من هذه الطاقة الحرارية لتسخين الوقود الذى يدخل إلى الاسطوانة فى الدورات التالية دورة حرارية أخرى جديدة. ويتم التخلص من الغازات الناتجة عن عملية الاشتعال عن طريق صمام العادم *Exhaust Valve* فعندما يصل المكبس قرب النقطة الميتة السفلى يتم فتح صمام العادم ويتحرك المكبس متجها إلى أعلى حتى يصل إلى النقطة الميتة العليا مزيحا أمامه الغازات المحترقة وعند نهاية المشوار يتم غلق صمام العادم لتبدأ دورة حرارية جديدة . ومن الملاحظ أن الضغط على منحنى *P-V* (الخط 5-1) يكون أعلى بقليل من الضغط الجوى نتيجة ضغط الغازات داخل الاسطوانة وأيضا حركة المكبس السريعة إلى أعلى ووجود فتحة صغيرة حول صمام العادم لتسرب الغازات من داخل المكبس مما يؤدى إلى ارتفاع الضغط إلى أعلى من الضغط الجوى. ومن الملاحظ أن عملية اشتعال الوقود تتم عند حجم ثابت. ويمكن أن تتم هذه العملية نتيجة الحركة السريعة للمكبس وأيضا مقدار التغير فى المسافة الرأسية للمكبس تعتبر مسافة صغيرة إذا ما قورنت بالمسافة فى وسط المشوار.

ب – الدورة الحرارية لمحركات الاشتعال بالضغط (ديزل)

وهذا النوع من المحركات يستخدم السولار كوقود. ونظرا لاختلاف درجة تطاير الوقود المستخدم هنا عن المحركات السابقة فإن بها دورة حرارية مختلفة تماما عن السابقة و يوضح شكل (3-10) الأشواط الأربعة للدورة الحرارية لمحركات الديزل كما يوضح شكل (3-11) التغيرات فى الضغط والحجم داخل الاسطوانة.



شكل (3-10): الدورة الحرارية لمحركات الاشتعال بالضغط رباعية الأشواط



شكل (3-11): منحنى التغير فى الحجم والضغط فى الدورة الحرارية لمحركات الاشتعال بالضغط - رباعية الأشواط

- شوط السحب Intake Stroke

وفيه يتحرك المكبس من النقطة الميتة العليا متجها إلى أسفل وفى نفس الوقت يكون صمام السحب مفتوح ويدخل عن طريقة هواء فقط حتى يصل المكبس إلى النقطة الميتة السفلى وعندها يغلق صمام السحب. ويلاحظ هنا أن خط السحب يكون أقل من الضغط الجوى لنفس الأسباب التى ذكرت فى محركات الاشتعال بالشرارة.

- شوط الضغط Compression Stroke

يتحرك المكبس من النقطة الميتة السفلى متجها إلى أعلى وبهذا يقل حجم الهواء ويرتفع ضغطه وبالتالى درجة حرارته. ونتيجة أن نسبة الكبس تكون أعلى فى محركات الديزل عن محركات البنزين فتصل درجة الحرارة فى نهاية مشوار

الضغط إلى 600م أى نحو ضعف درجة الحرارة فى محركات البنزين وبهذا فإن الهواء يصل إلى درجة حرارة تكفى للاشتعال الذاتى لوقود السولار، فعند نهاية مشوار الضغط تقريبا يبدأ الرشاش فى إعطاء شحنة من الوقود داخل الاسطوانة تحت ضغط عالى على هيئة رزاز صغير *Small Droplets* يختلط بالهواء الساخن وتنتج عملية الإشتعال تحت ضغط ثابت وينتج عنها غازات تحت ضغط عالى.

- شوط التشغيل ***Power Stroke***

يبدأ المكبس فى حركته من النقطة الميتة العليا متجها إلى أسفل نتيجة ضغط الغازات على المكبس حتى يصل تقريبا إلى النقطة الميتة السفلى. ونظرا لأن هذا الشوط هو المفيد فى الدورة الحرارية فيجب توفير جزء من هذه الطاقة الناتجة لاستخدامها للأشواط الأخرى مثل شوط العادم والسحب والضغط.

- شوط العادم ***Exhaust Stroke***

نتيجة عملية الاشتعال يتولد غازات محترقة يجب التخلص منها قبل البدء فى دورة حرارية جديدة. فعندما يكون المكبس تقريبا عند النقطة الميتة السفلى يبدأ صمام العادم فى الفتح ونتيجة حركة المكبس إلى أعلى تزاح أمامه غازات العادم ونجد أيضا الضغط فى هذا المشوار أعلى بقليل من الضغط الجوى العادى لنفس الأسباب التى ذكرت فى محركات الاشتعال بالشرارة. ويلاحظ أن عملية الأشتعال تتم عند ثبوت الضغط وهذا يتم داخل الاسطوانة نتيجة الحركة السريعة للمكبس وأيضا مقدار التغير فى الحجم يعتبر تغيراً بسيطاً نسبيا.

ويلاحظ مما سبق ان فتح وغلق الصمامات فى المحرك الرباعى يتم طبقا لنظام معين ويعرف هذا بتوقيت فتح وغلق الصمامات *Timing Valve* حيث تتوالى فيه الدورات الحرارية مبتدئه من فتح صمام السحب حتى طرد غازات

العادم عن طريق صمام الطرد. وتظهر هذه العملية بشكل (3-12) فى 2 لفه من عدد لفات عمود الكرنك ويمكن تلخيصها فى الاتى:

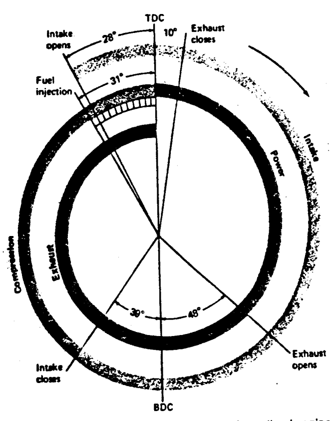
– عند النقطة 1 : يفتح صمام السحب قبل النقطة الميتة العليا ***T.D.C*** ويكون هذا فى شوط العادم وذلك لضمان أن يكون صمام السحب مفتوح فى بداية شوط السحب لأقصى درجة ودخول أكبر كمية بالهواء أو المخلوط الى الاسطوانة.

– عند النقطة 2 : يتم غلق صمام السحب عند النقطة الميتة السفلى ***B.D.C*** ويكون هذا فى شوط الضغط. وذلك لأعطاء فرصة لدخول أكبر كمية من الهواء أو المخلوط الى الاسطوانة عن طريق الطاقة الحرارية المكتسبة لحركة الغاز وذلك لرفع الكفاءة الحجمية للاسطوانة.

– عند النقطة 3 : يتم أعطاء الشرارة الكهربائية فى محركات البنزين (أشتعال بالشرارة) أو يتم حقن حقنة السولار فى الاسطوانة (فى محركات الأشتعال بالضغط) قبل النقطة الميتة العليا TDC وذلك لضمان عملية أشتعال الوقود قبل وصول المكبس فى بداية شوط التشغيل للحصول على أكبر قوة متولدة على المكبس لدفعه الى أسفل عندما يصل المكبس فى نهاية مشوارالضغط أو فى بداية شوط التشغيل.

– عند النقطة 4 : يفتح صمام العادم فى نهاية شوط التشغيل قبل النقطة الميته السفلى وهذا للأستفادة من ضغط غازات العادم لتتسرب الى خارج الاسطوانة. ومن الملاحظ أن الضغط عند هذه النقطة هو ضغط ضعيف لأدارة عمود الكرنك ويمكن الأستفادة منه فى طرد غازات العادم.

– عند النقطة 5 : يغلق صمام العادم بعد النقطة الميتة العليا فى بداية شوط السحب وذلك لضمان خروج كل غازات العادم عن طريق دخول شحنة جديدة من الهواء أو المخلوط من صمام السحب.



Valve and fuel-injection timing for a diesel engine.

شكل (3-12): توقيت فتح وغلق الصمامات

3-4-2- الدورات الحرارية للمحركات ثنائية المشوار

أ - محركات البنزين (الاشتعال بالشرارة)

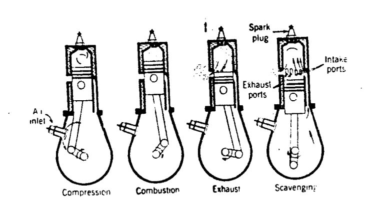
وفى هذا النوع من المحركات تتم الدورة الحرارية خلال مشوارين أثنين فقط من المكبس ولذا كان تصميم المحرك الثنائى مختلف بعض الشىء عن المحرك الرباعى المشوار. ويوضح شكل (3-13) المحرك الثنائى ويلاحظ أنه لا يوجد

صمامات أعلى الاسطوانة ولكن توجد فتحتان على جانبي الاسطوانة أحداهما للسحب والأخرى لطرد العادم.

فعندما يكون المكبس عند النقطة الميتة السفلى يتم دخول مخلوط الهواء والوقود من الفتحة الجانبية للسحب وعندما يتحرك المكبس إلى أعلى متجها إلى النقطة الميتة العليا فإن المكبس يغطى فتحة السحب أولا ثم الطرد ثانيا. وبعد ذلك يبدأ شوط الضغط إلى أن يصل المكبس قريبا من النقطة الميتة العليا فيرتفع ضغط المخلوط وترتفع درجة حرارته أيضا فتعطى الشرارة الكهربائية من شمعة الاشتعال فيشتعل المخلوط ويتولد عنه غازات تحاول أن تضغط على المكبس لتحركه إلى أسفل وينتج عنه شوط التشغيل. وعندما يصل المكبس قريبا من النقطة الميتة السفلى فتتسرب أولا غازات العادم من الفتحة العلوية وهى فتحة العادم ثم يبدأ دخول المخلوط من الفتحة السفلى من فتحة السحب. ومن الملاحظ أن حركة المكبس داخل علبة الكرنك يستفاد منها فى ضغط المخلوط إلى الاسطوانة وهذا ما ينتج عنه أحيانا تغير فى خواص الزيت فى علبة الكرنك وأحيانا يحتوى على مواد صمغية مما له تأثير على تغيير خواص الزيت المستخدم.

ويلاحظ أيضا أن فتحة العادم أعلى بقليل من فتحة السحب وذلك لضمان التخلص من العادم عن طريق كبس المخلوط إلى الاسطوانة مما يترتب عليه فقد جزء من المخلوط مع غازات العادم وبالتالى تقل الكفاءة الحرارية لهذا النوع من المحركات بسبب فقد جزء من الوقود عن طريق فتحة العادم. أما من مميزات هذا النوع من المحركات فهى تمتاز بقلة الأجزاء المتحركة المستخدمة فى عملية فتح الصمامات وغلقها مما يجعل سعر هذه المحركات أقل من المحركات رباعية المشوار.

وأيضا نجد أن الدورة الحرارية تتم فى لفة واحدة من لفات عمود الكرنك أى أن شوط التشغيل يحدث كل لفة إذا كان المحرك به اسطوانة واحدة. ومما سبق يمكن استخلاص أنه إذا تساوى محركان أحدهما ثنائى والآخر رباعى المشوار فى عدد الاسطوانات وفى الشغل الناتج من كل منهما فإن القدرة المتولدة من المحرك الثنائى تكون ضعف القدرة المتولدة من المحرك الرباعى المشوار.



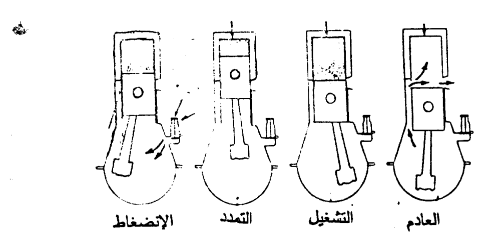
شكل (3-13): الدورة الحرارية لمحرك الاشتعال بالشرارة ــ ثنائى الأشواط

ب- محركات الديزل (الأشتعال بالضغط)

ويظهر هذا المحرك فى شكل (3-14) وعندما يكون المكبس عند النقطة الميتة السفلى يدخل عن طريق فتحة السحب هواء فقط ويمكن دفعه بالإستعانة بمروحة. ويتحرك المكبس متجها إلى النقطة الميتة العليا ويبدأ شوط الضغط ويزداد ضغط الهواء وأيضا درجة حرارته. وعندما يصل المكبس قريبا من النقطة

الميتة العليا يبدأ الرشاش فى دفع الوقود (السولار) داخل الاسطوانة على هيئة رذاذ رفيع ويتم خلطه بالهواء وتتم عملية الاشتعال وينتج عنها غازات تحت ضغط عالى تحاول أن تضغط على المكبس إلى أسفل ويبدأ شوط التشغيل.

وعندما يصل المكبس قريبا من النقطة الميتة السفلى يبدأ خروج العادم من فتحة جانبية وتتكرر الدورة مرة آخرى. ويلاحظ أنه إذا حدث تسرب عن طريق فتحة العادم فيكون عبارة عن هواء ـنط مما لا يؤثر على الكفاءة الحرارية.



شكل (3-14): الدورة الحرارية لمحرك الاشتعال بالضغط ـ ثنائى الأشواط

3-5- المحركات المتعددة الاسطوانات *Multi-Cylinder I.C. Engines*

كما أوضحنا سابقاً أن الدورة الحرارية الواحدة تستفاد من الطاقة الناتجة من احتراق الوقود فى شوط القدرة والتى تختزن فى الحدافة المركبة على عمود الكرنك لتغذية المحرك بالحركة اللازمة أثناء الأشواط الأخرى (عادم- سحب - ضغط) فإذا كانت الدورة الحرارية للمحرك رباعية الأشواط والتى تتم فى لفتين لعمود الكرنك، نجد أن المحرك ذا الاسطوانة الواحدة يعطى دفعة واحدة فقط من القدرة أثناء شوط القدرة وذلك فى لفتين للعمود ولتهيئة استمرار القدرة بانتظام أكثر وبنعومة فى الدوران تستخدم المحركات متعددة الاسطوانات، على أن يراعى عند ترتيب الاشتعال فى هذه الاسطوانات على فترات منتظمة ومتساوية بقدر المستطاع، كما يجب مراعاة توقيت الاشتعال فى الاسطوانات بحيث لا تتعرض كراسى عمود الكرنك لطرقات متساوية تؤثر فيها وتسبب إجهادات شديدة للعمود نفسه. ولهذا يجب مراعاة إنتظام توزيع الأجهادات على عمود المرفق بأكمله. ويمكن حساب الفترة بين شوط القدرة أو الفترة بين الاشتعال من العلاقة التالية:

$$Firing\ Interval = \frac{Crank\ angle\ degrees / cycle}{Number\ of\ cylinder} \quad (3-21)$$

ترتيب الاشتعال فى المحركات الرباعية الأشواط:

أ- محرك إسطوانتين

فى هذا المحرك تتم الدورة الحرارية فى لفتين من عمود الكرنك (720°) ويحتوى على شوطين قدرة فى تلك الفترة. وللحصول على انتظام فى عمل المحرك يجب أن تنظم هذه الأشواط الفعالة على فترات متساوية وبالتالى تكون الفترة بين شوطى القدرة فى ذلك المحرك 360°.

ب- محرك أربعة اسطوانات

فى هذا المحرك تكون الفترة بين القدرة 180ْ ويجب هنا مراعاة توزيع الحمل على عمود الكرنك ولذلك ترتب ركب عمود المرفق بحيث يكون المكبس رقم 1 ، 4 إلى أسفل وتكون حركة المكابس 2 ، 3 الى أعلى فأذا فرض أن شوط الشغل بدأ فى الاسطوانة 1 فسيكون هناك شوط سحب فى الاسطوانة 4 أما فى الاسطوانة 2 فيتحرك المكبس إلى أعلى فى شوط العادم أو الضغط وكذلك فى الاسطوانة 3 شوط الضغط أو العادم. وعلى هذا نجد أن هناك نظامين للإشعال لهذا المحرك أحدهما 1- 3- 4- 2- والثانى 1- 2- 4- 3 كما فى الجدول (3-1).

جدول (3-1) ترتيب الإشتعال فى محرك أربعة اسطوانات

Firing Order 1,2,4,3

	Cylinders			
Stroke	1	2	3	4
1	سحب Intake	عادم Exhaust	ضغط Compression	قدرة Power
2	ضغط Compression	سحب Intake	قدرة Power	عادم Exhaust
3	قدرة Power	ضغط Compression	عادم Exhaust	سحب Intake
4	عادم Exhaust	قدرة Power	سحب Intake	ضغط Compression

Firing Order 1,3,4,2

1	سحب Intake	ضغط Compression	عادم Exhaust	قدرة Power
2	ضغط Compression	قدرة Power	سحب Intake	عادم Exhaust
3	قدرة power	عادم Exhaust	ضغط Compression	سحب Intake
4	عادم Exhaust	سحب Intake	قدرة Power	ضغط Compression

جـــ- محرك ست اسطوانات:

قد ترتب هذه الاسطوانات فى صف واحد وتكون فى هذه الحالة تشابه المحركات ذات أربع اسطوانات مكونة شكل حرف ***V*** ولكن الاكثر أنتشارا حتى الآن هى المحركات ذات الصف الواحد، وفى هذه المحركات ترتب محاور المرفق على 120° فى أزواج على حدة ويؤدى هذا إلى اتزان جيد لعمود المرفق. ويلاحظ أن الفترة ما بين بداية شوط القدرة فى أى اسطوانة والتى يليها فى الترتيب حسب نظام الإشعال تساوى 120°، ومن هذا نجد أن الأشواط تتداخل فيما بينها بمقدار 60°. وهناك أربع احتمالات لنظام الإشعال بالنسبة لهذه المحركات ولكن أكثرها استخداماً وشيوعاً هى:

1- 5- 3- 6 - 2- 4 أو 1- 4- 2- 6- 3- 5 كماهو موضح فى جدول (3-2) وجدول (3-3) على الترتيب.

جدول (3-2) ترتيب الإشتعال لمحرك اسطوانات (1-5-3-6-2-4)

	Cylinders					
Degree	1	2	3	4	5	6
60°			power	intake		
120°	intake	compression			exhaust	power
180°			exhaust	compression		
240°		power			intake	
300°	compression					exhaust
360°			intake	power		
420°		exhaust			compression	
480°	power					intake
540°			compression	exhaust		
600°		intake			power	
660°	exhaust					compression
720°						

جدول (3-3) ترتيب الإشتعال لمحرك اسطوانات (1-4-2-6-3-5)

<table>
<tr><th>Cranksheft angle,deg</th><th colspan="6">Cylinder no.</th></tr>
<tr><td>0</td><td>1</td><td>5</td><td>3</td><td>6</td><td>2</td><td>4</td></tr>
<tr><td>60</td><td rowspan="3">Power</td><td rowspan="2">Comp</td><td></td><td rowspan="3">Intake</td><td rowspan="2">Exhaust</td><td rowspan="3">Exhaust</td></tr>
<tr><td>120</td><td rowspan="3">Comp</td></tr>
<tr><td>180</td><td rowspan="3">Power</td><td rowspan="3">Intake</td></tr>
<tr><td>240</td><td rowspan="3">Exhaust</td><td rowspan="3">Comp</td><td rowspan="3">Intake</td></tr>
<tr><td>300</td><td rowspan="3">Power</td></tr>
<tr><td>360</td><td rowspan="3">Exhaust</td><td rowspan="3">Comp</td></tr>
<tr><td>420</td><td rowspan="3">Intake</td><td rowspan="3">Power</td><td rowspan="3">Comp</td></tr>
<tr><td>480</td><td rowspan="3">Exhaust</td></tr>
<tr><td>540</td><td rowspan="3">Intake</td><td rowspan="3">Power</td></tr>
<tr><td>600</td><td rowspan="3">Comp</td><td rowspan="3">Exhaust</td><td rowspan="3">Power</td></tr>
<tr><td>660</td><td rowspan="2">Intake</td></tr>
<tr><td>720</td><td></td><td></td></tr>
</table>

3-6- محركات الشحن الزائد " التشحين " *Supercharging*

كلما شحنت اسطوانة المحرك بكميات كبيرة من الهواء والوقود الممكن حرقه كلما زادت قدرة المحرك، ومن اليسير إدخال كمية كبيرة نسبيا من الهواء. وليس إدخال الهواء فى الاسطوانة أمرا يسيرا.

فعند هبوط المكبس فى شوط السحب يحدث تفريغ جزئى فى الاسطوانة، أى ينخفض الضغط داخل الاسطوانة عن الضغط الجوى خارجها، ويعمل الضغط الخارجى (الضغط الجوى) على دفع الهواء فى الاسطوانة لملئها. فإذا كان الضغط الخارج أعلى من الضغط الجوى فتملأ الاسطوانة بضغط أعلى. وتكون النتيجة ملىء الاسطوانة بهواء أكثر. وهذا تماماً ما يقصد بعملية الشحن الزائدة *Supercharging* فهى عملية شحن الاسطوانة بكمية زائدة من الهواء لزيادة قدرة

المحرك. وتتم عملية الشحن الزائد باستعمال مضخة هواء تعمل على سحب الهواء الجوى المحيط بها وتضغطه إلى ضغط مرتفع يزيد على الضغط الجوى بقليل.

الغرض من الشحن الزائد: الغرض الأول هو الحصول على قدرة أكبر من المحرك لتغذيته بكمية أكبر من الهواء **(وكميه أكبر من الوقود كذلك) عما لو** شحنت الاسطوانة مباشرة من الهواء الجوى كما هى العادة. أما الغرض الثانى فهو تعويض ما يفقد من القدرة باستعمال المحرك فى الأماكن المرتفعة عن سطح البحر. باستعمال الشحن الزائد يمكن رفع الضغط الجوى المنخفض إلى ما يعادل الضغط فى مستوى البحر وبناءً على ذلك تزيد قدرة المحرك. ويوجد ثلاثة نظم للشحن الزائد:

أ ــ ضاغط هواء يدار بواسطة المحرك *An Engine Driven Compressor*

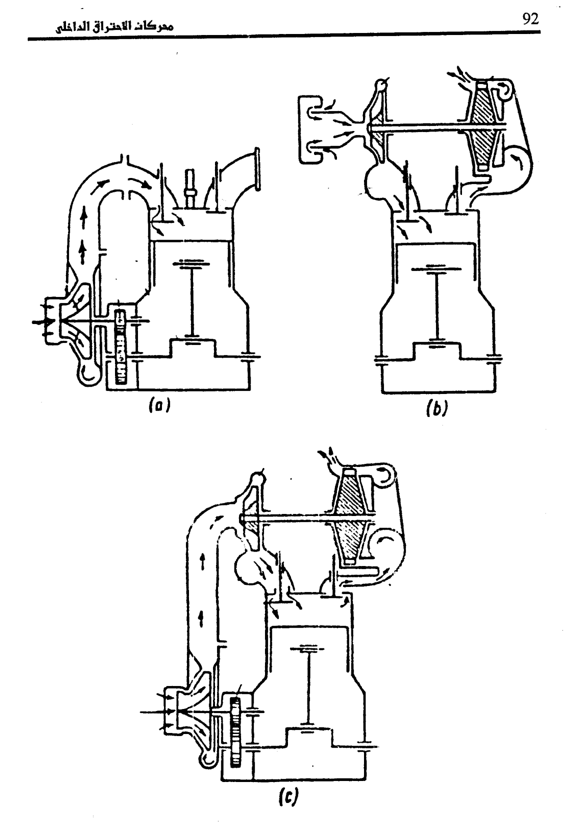
فى هذا النظام شكل (3-15 أ) تصل الحركة إلى ضاغط الهواء عن طريق ترس يأخذ حركته من عمود الكرنك.

ب ــ ضاغط يدار بواسطة غازات العادم *A Turbo-compressor*

ويعتمد هذا النظام شكل (3-15ب) على الاستفادة من الطاقة الخارجة مع غازات العادم حين يوجد ضاغط عادم عند مخرج غازات العادم. وفى مدخل السحب ضاغط السحب يركب على عمود مشترك مع ضاغط العادم. حينما تعمل غازات العادم أثناء خروجها على إدارة الضاغط الموجود عند فتحة خروج غازات العادم التى تعمل بدورها على إدارة ضاغط السحب.

جـ ــ النظام المركب من النظامين السابقين *A Combination System*

هذا النظام يجمع بين النظامين السابقين شكل (3-15جـ) وترتفع درجة حرارة المحرك نتيجة للشحن الزائدة لذلك تحتاج بعض هذه المحركات إلى نظام تبريد لتقليل الحرارة الناتجة عند تشغيل الشحن الزائد.



شكل (3-15): محركات الشحن الزائد Super charging

3-7- طرق بدء إدارة المحرك *Engine Starting Mothed*

عند بدء إدارة المحرك – يلزم إحداث شوط سحب ثم ضغط فى الاسطوانات حتى يتم حدوث شوط التشغيل وبعدها يدور المحرك من تلقاء نفسه. لذلك تحتاج المحركات لوسيلة لبدء حركتها عند أول تشغيلها حتى تبدأ الدورات الحرارية فى إعطاء طاقة للمحرك ثم بعد ذلك تفصل الوسيلة من المحرك ذاتياً. وتختلف الطرق المتبعة فى بدء الحركة حسب نوع وقدرة المحرك. وتقابل محركات الإشتعال بالضغط (الديزل) بعض الصعوبات عند تقويم أو بدء إدارتها، فى حين لاتوجد هذه الصعوبات عند بدء إدارة محركات الإشتعال بالشرارة (البنزين) ويرجع ذلك للأسباب الآتية:

أ- نسبة الكبس فى محركات الديزل أعلى من نسبة الكبس فى محركات البنزين وبالتالى الضغط داخل الاسطوانات فى محركات الديزل سوف يكون أعلى.

ب- نوع الوقود المستخدم فى محركات الديزل (السولار) يحتاج إلى درجة حرارة عالية للاشتعال أعلى من وقود محركات البنزين (البنزين).

جـ- شمعة الاحتراق فى محركات البنزين تساعد على عملية أشتعال الشحنة فى حين بمحركات الديزل فيتم الاشتعال ذاتياً.

وفيما يلى سوف نذكر الطرق المستخدمة فى بدء حركة المحركات:-

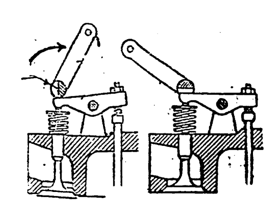
أ- طريقة كامة نصف الضغط:

وهى كما يتضح من شكل (3-16) عبارة عن كامة يمكن للعامل أن يحركها لتضغط على صمام العادم فتعمل على فتحه فتحا جزئياً أثناء بداية تشغيل المحرك حتى يقل الضغط داخل الاسطوانة ويحتاج إلى قوة أقل فى إدارة عمود الكرنك. ويتم دوران عمود الكرنك عن طريق عمود يدار باليد يسمى (المانفيلا) وفى أثناء ذلك يتم دفع لشحنات الوقود داخل المحرك إلى أن يتم دوران عمود الكرنك بنفسه وبعد الإدارة ترفع اليد من أعلى كامة نصف الضغط وتفصل المانفيلا

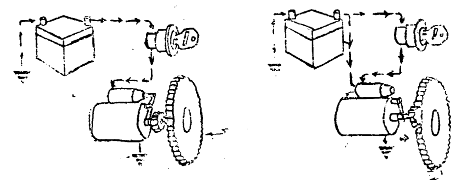
ليستمر المحرك فى الدوران بنفسه. وهذه الطريقة تستهلك كمية من الوقود أكبر أثناء بدء التشغيل إذا ما قورنت بالطرق الأخرى.

ب- طريقة المارش الكهربائي:

تعتبر طريقة المارش الكهربائى (شكل3-17) أسهل طريقة لبدء إدارة المحرك وهى عبارة عن محرك كهربائى يستمد الطاقة الكهربائية من بطارية ومركب على محوره ترس صغير يسمى ترس البندكس. وهذا الترس يقابل ترس كبير موجود على محيط الحدافة. وهذين الترسين يكونا فى وضع الفصل عندما يكون المحرك دائراً. ولكن أثناء بدء إدارة المحرك يتم أولا إدارة المحرك الكهربائى وبالتالى يدور محوره، وعلى هذا المحور يوجد حلزون يعمل على دفع ترس البندكس لتوصيله بترس الحدافة ليعمل على دوران عمود الكرنك وهذه العملية تتم فى ثوانى قليلة. ونجد أن الحدافة تدور ومعها عمود الكرنك الذى يقوم بدوره فى حركة مكابس الاسطوانات إلى أعلى وإلى أسفل لعمل مجموعة من الدورات الحرارية حتى يصبح للمحرك القدرة على الاستمرار فى إدارة نفسه وفى هذه الأثناء تفصل الدائرة الكهربائية عن المحرك الكهربائى ويقف عن الحركة ويعود ترس البندكس إلى وضع الفصل بفعل ياى موجود على محوره.



شكل (3-16): طريقة كامة نصف الضغط لبدء المحرك



شكل (3-17): بدء إدارة المحرك بالمارش

جـ - طريقة تقويم محركات الديزل بمحركات البنزين:

نظراً لسهولة بدء إدارة محركات البنزين فإنها تستخدم لتقويم محركات الديزل بدلاً من المحرك الكهربائى (وخصوصاً مع محركات الديزل العالية القدرة) حيث يستخدم محرك بنزين ذو قدرة صغيرة لمدة دقيقة أو دقيقتين لتقويم محرك الديزل وأيضاً لتسخين الاسطوانات لسهولة اشتعال أول شحنة من وقود السولار عند دخولها إلى الاسطوانة. وفى بعض الأحيان نجد أن محرك الديزل يعمل أولاً كمحرك بنزين للتقويم فقط ثم بعد ذلك يتحول الى محرك ديزل لذا نجد فى هذا النوع صمام فى رأس الاسطوانة يفتح على غرفة إضافية بها شمعة اشتعال وأيضاً لتخفيض نسبة الكبس من محركات الديزل إلى محركات بنزين. ويوجد كاربوراتير منفصل لخلط البنزين بالهواء عند بداية التشغيل. فعند بدء التشغيل يقوم السائق بالضغط على رافعة ثم يقوم السائق بتشغيل المحرك كأنه محرك بنزين عادى. وعند دوران المحرك لمدة دقيقتين يقوم السائق ثانياً برفع الرافعة مرة أخرى ليقوم ليعمل كمحرك ديزل. وأحياناً يوجد فى رأس الاسطوانة مجموعة سخانات تسمى شمعة التسخين لتسهيل مهمة اشتعال شحنات الوقود الداخلة إلى الاسطوانة وخصوصاً مع محركات الديزل.

الباب الرابع

الوقود ونظرية الاحتراق

Fuel & Theory of Combustion

الباب الرابع

الوقود ونظرية الاحتراق

Fuel & Theory of Combustion

4-1- مقدمة

تستخدم المحركات إما وقود سائل أو غازي كما أوضحنا فيما سبق وقد يحتوى الوقود المستخدم على الإيدروجين *(H)* والكربون *(C)* بالأضافة الى عناصر أخرى بنسب قليلة مثل الكبريت *(S)* والأكسجين *(O)* والنتروجين *(N)* والشوائب (الرماد *Ash*) الغير قابلة للاشتعال ونسبة من الرطوبة *(W)*. وتقدر هذه المحتويات فى الوقود كنسب مئوية بالنسبة للوزن.

ويعتبر البترول والفحم والغاز الطبيعى من أهم هذه المصادر الوقود استخداما فى العالم ويتوقع أن يستمر استخدامها لفترات زمنية بعيدة. ويختص البترول بموقع خاص حيث أن الوقود البترولى السائــل (ديزل- جازولين) هو المستخدم فى محركات الأحتراق الداخلى.

4-2- الوقود من الفحــم Coal

يستخرج الفحم من باطن الأرض، وهو أحد المصادر الهامه للطاقه فى هذا العصر. ولايوجد لفحم تركيب ثابت، فهو خليط من عدة مواد، ويحتوى الفحم على قدر معين ومتغير من الكربون. ولم يحتفظ الفحم بأهميتة كمصدر للطاقة فى خلال القرن العشرين؛ وذلك بعد أكتشاف البترول الذى أصبح من أشد المنافسين للفحم فى هذا الزمان، بل حل محله فى كثير من الحالات. ويبدو اليوم أن هذه الصورة ستتغير الى حد ما، خاصة بعد أن أشارت كثير من التقديرات الى احتمال نضرب المخزون من البترول فى باطن الأرض، خلال الأعوام القليلة القادمة.

ويتكون الفحم من باطن الأرض نتيجه لتفحم بقايا النباتات والأشجار، ولذلك يقال أن الفحم يختزن فى داخله الطاقة الشمسية التى سبق للنباتات أن إمتصتها فى أثناء حياتها على سطح الأرض. ونظرا لأن عملية التحول من النبات الى فحم تحتاج الى وقت طويل يقدر بملايين السنين، ولذلك يجب المحافظه عليها واستعمالها بحرص شديد وعدم أستنزافها.

والفحم الحجرى ثلاثة أنواع تختلف بأختلاف الجهات التى يستخرج منها وبأختلاف الغرض الذى تستعمل فيه كما أن هذه الأنواع تختلف فى درجة التفحم وفى نسب تركيبها، فبعضها يحتوى على 50% كربون والبعض الأخر يحتوى على 90% كربون. ويجب أن نعلم أن نسبة الكربون فى الفحم الحجرى هى العامل الرئيسى لمعرفة نوعه.

يستعمل الفحم كمصدر للطاقة فى كثير من الصناعات، وفى محطات القوى التى تولد الكهرباء. وتبلغ القيمة الحرارية للفحم نحو 28 جول/كجم فحم، ولكن هذه القيمه تختلف من نوع لآخر. ويلقى الفحم كثير من المنافسة من بعض مصادر الطاقة الأخرى، خاصة من البترول والغاز الطبيعى وهو يلقى مثل هذه المنافسة حديثا من بعض مصادر الطاقة الأخرى، مثل الطاقة النووية والطاقة الشمسية. ومع هذا مازال الفحم من أهم مصادر الطاقة المستخدمة فى توليد الكهرباء. ويرى البعض أن حل مشكلة الفحم قد يكون فى تحويله الى وقود غازى أو وقود سائل بطريقه أو بأخرى. حتى يستطيع أن يصمد لمنافسة الغاز الطبيعى وزيت البترول. وسوف نوضح فيما يلى كيفية تحويل الفحم إلى وقود:

أولاً: تحويل الفحم الى وقود غـــازى

تعتبر طرق تحويل الفحم الى وقود غازى متعدد الأغراض من أهم طرق تحويل الفحم الى صور أخرى يسهل استعمالها كمصدر للطاقة. وهناك طريقتين لتحويل الفحم الى وقود غازى:

أ- الغاز المنتج Producer Gas

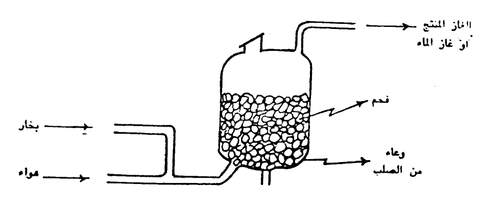
يتكون الغاز المنتج عند إمرار تيار من الهواء المحمل بقدر صغير من بخار الماء فوق الفحم المسخن لدرجة حرارة عالية. ويحتوى الغاز المنتج على نحو 50% من وزنه من غاز النتروجين، كما يحتوى على كل من غازى الهيدروجين وأول أكسيد الكربون. لذلك فأن القيمة الحرارية للغاز المنتج تكون منخفضة نسبيا نظرا لأن غاز النتروجين لا يقبل الاشتعال.

ب - غــاز المـــاء Water Gas

يعرف هذا الغاز أحيانا بأسم " الغاز الأزرق" لأنه يشتعل بلهب أزرق. ويتكون غاز الماء عند إمرار تيار من بخار الماء المحمص، أى المسخن لدرجة تزيد عن 150° فى خلال الفحم الساخن لدرجة حرارة عالية تزيد عن 1200°م. ويتكون غاز الماء من خليط من غازى الهيدروجين وأول أكسيد الكربون وكليهما يقبل الأشتعال:

$$C + H_2O \rightarrow CO + H_2 \ (Water\ gas)$$

ولذلك فأن القيمة الحرارية لغاز الماء تزيد عن القيمة الحرارية للغاز المنتج بحوالى الضعف ويحتوى غاز الماء على نسبة صغيرة من غاز ثانى أكسيد الكربون. ويوضح شكل (4-1) تحويل الفحم الى الغاز المنتج أو غاز الماء.



شكل (4-1): تحويل الفحم الى الغاز المنتج أو غاز الماء

جـ ـــ تغويز الفحم فى باطن الأرض *Under Ground Gasification*

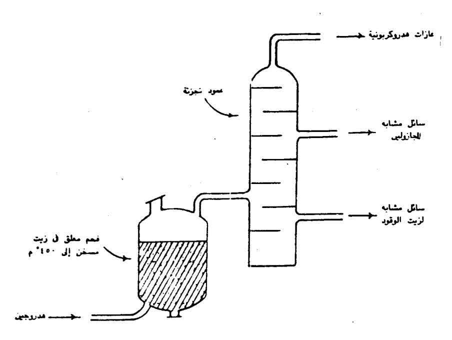
تتلخص هذه الطريقة فى تحويل الفحم إلى غاز وهو فى باطن الأرض دون الحاجة إلى استخراجه بطرق التعدين المعروفة. وتوفر هذه الطريقة كثير من التكاليف، فهى تتخلص تماما من تكاليف أستخدام الفحم من باطن الأرض، كما أنها توفر تكاليف نقلة الى مراكز التصنيع المختلفة.

وتتضمن هذه الطريقة حفر آبار مائلة تصل بين سطح الأرض وبين رواسب الفحم، ثم يشعل الفحم ويدفع الهواء فى أنابيب الى هذه الرواسب، ويعود مرة أخرى الى سطح الأرض عن طريق انابيب أخرى، حاملا معه غازات الفحم.

وتعتبر هذه الطريقة كثيرا فى استغلال رواسب الفحم التى قد توجد على عمق كبير، أو توجد هذه الرواسب تحت صخور صلبة، أو يكون حجمها غير أقتصادى أو من النوع متوسط الجودة، فتكون تكاليف أستخراجها من باطن الأرض أكثر بكثير من قيمتها الأقتصادية.

ثانياً: تحويل الفحم الى وقود سائل:

وتعرف طريقة تحويل الفحم الى وقود سائل بأسم طريقة برجيوس للهدرجة ***Bergius Hydrogenation Process*** نسب الى العالم الألمانى برجيوس أول من فكر فيها. ويوضح شكل (4-2) هذه الطريقة. خلط مسحوق الفحم ببعض الزيوت الثقيلة، ثم يضاف الى هذا الخليط حافز مثل أملاح القصدير ويمرر فيه تيار من غاز الهيدروجين تحت ضغط معلوم وعند درجة حرارة 450°م، وينتج من هذا سائل ثقيل يتم تجزيئة الى عدة مقطرات ومنها الجازولين وزيت الوقود وينتج كذلك بعض الغازات الهيدروكربونية وبعض المواد العضوية الأخرى مثل البنزين والأيثلين والنفتالين.



شكل (4-2) طريقة برجيوس لتحويل الفحم الى وقود سائل

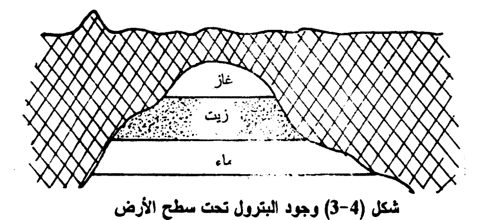
4-3- الوقود من البترول

يعتبر زيت البترول من أهم مصادر الطاقة فى هذا العصر، بل هو يعتبر بحق من مقومات حضارتنا الحديثة، ولهذا يطلق عليه احيانا أسم "الذهب الأسود" تشبيها له بالذهب فى قيمتة وأهميتة. زيت البترول سائل أسود وكثيف سريع الأشتعال، وهو يتكون من خليط من المركبات العضوية التى تتكون أساسا من عنصرى الكربون والهيدروجين وتعرف بأسم الهيدروكربونات. وتبلغ نسبة الهيدروكربونات فى بعض أنواع البترول نحو 50% من تركيبة الكلى، وقد تصل فى بعض الأنواع الأخرى الى 98%، يحتوى زيت البترول كذلك على بعض المواد العضوية الأخرى التى تحتوى جزيئاتها على الأكسجين والنتروجين والفوسفور والكبريت.

ولا تعرف على وجه التحديد الطريقة التى تكون بها زيت البترول فى باطن الأرض، ولكن هناك عدة نظريات تتناول الطريقة التى نشأ بها. والنظرية السائدة، والتى تلقى قبولاً لدى كافة العلماء، هى تلك النظرية التى تفترض أن زيت البترول قد نشأ نتيجة لتحلل البقايا النباتية والحيوانية تحت ظروف قاسية من الضغط والحرارة.

ويوجد البترول تحت سطح الأرض فى طبقات الصخور المسامية مثل الصخور الجيرية أو الحجر الرملى، وعندما تحيط الصخور الصلدة غير المسامية بهذه الطبقات، يمنع تسرب الزيت فيها ويتكون ما يعرف بالمكمن، ويبقى الزيت مخزونا فيه حتى يتم الوصول اليه بحفر الآبار. وعادة ما يجتمع فى هذه المكامن كل من زيت البترول والماء الملح والغاز الطبيعى، وتتكون فيها جميعا طبقات ثلاث كما هو موضح فى شكل (4-3). أما الغاز الطبيعى يكون فى الطبقة العليا، على حين يتجمع الماء فى طبقة سفلى، ويقع زيت البترول بينهما فى الطبقة الوسطى.

وعند حفر بئر للوصول الى مكمن زيت البترول فى باطن الأرض فإن ضغط الغاز الموجود بالمكمن وضغط الغاز الزائب فى الزيت، يدفع الزيت من فوهة البئر بعنف شديد على هيئة نافورة قد يصل أرتفاعها الى عشرات الأمتار فوق سطح الأرض.

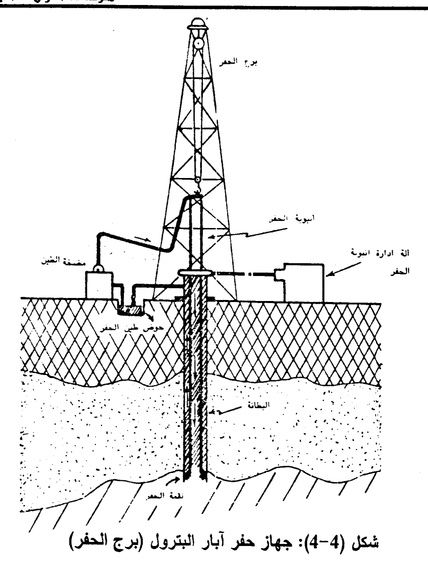


شكل (4-3) وجود البترول تحت سطح الأرض

والطريقة المستخدمة حاليا فى كل حقول البترول هى طريقة الحفر الدائرى وفيها يتم اقامة منصة حول منطقة الحفر، يركب عليها برج خاص يستخدم فى عملية الحفر وفى إنزال الأنابيب فى جوف البئر. ويوضح شكل (4-4) جهاز حفر آبار البترول (برج الحفر). وتعتبر عملية نقل البترول من أهم خطوات صناعة البترول.

لا يمكن استعمال زيت البترول الخام بالصورة التى يخرج عليها من باطن الأرض. يتكون زيت البترول بصفة عامة من خليط من الهيدروكربونات التى تتكون جزيئاتها من ذرات الكربون والهيدروجين. ويختلف تركيب زيت البترول من مكان لآخر. وتعرف عملية فصل الزيت الخام الى بعض مكوناته بطريقة التقطير كما تعرف طريقة تنقية هذه المكونات من الشوائب بأسم عملية التكرير.

وتنقسم العمليات الأساسية التى تجرى فى معمل التكرير الى قسمين رئيسين، القسم الأول منها يتضمن عمليات التقطير والتجزئة، والقسم الثانى يشتمل على عمليات التكسير لتحويل المقطرات الثقيلة الى مقطرات خفيفة. وتتم عملية التقطير التجزيئى للزيت الخام فى معامل التكرير الحديثة بشكل متصل ومستمر، فيدخل الزيت الخام الى بداية خط التكرير، وتخرج المقطرات المطلوبة من نهايتة بشكل مستمر، ويمكن بذلك تكرير آلاف الأطنان من الزيت الخام فى اليوم.



شكل (4-4): جهاز حفر آبار البترول (برج الحفر)

يوضح شكل (4- 5) رسماً تخطيطياً لعملية تكرير البترول. وفيها يتم تسخن الزيت الخام المراد تقطيره بإمراره فى أنابيب حلزونيه داخل أفران خاصة فترتفع درجة حرارته الى 400 - 450مْ ثم يدفع هذا الزيت الساخن الذى يكون فى هذه الحالة على هيئة خليط من السائل والبخار، الى الجزء الأسفل من برج التجزئة، فتتطاير الأجزاء الخفيفة الى قمة البرج، وتتجمع الأجزاء الثقيلة فى قاع البرج، وبرج التجزئة عبارة عن أسطوانة طويلة من المعدن تقف فى وضع رأسى وقد يبلغ أرتفاعة نحو ثلاثين مترا. ويحتوى هذا البرج على عديد من الرفوف على

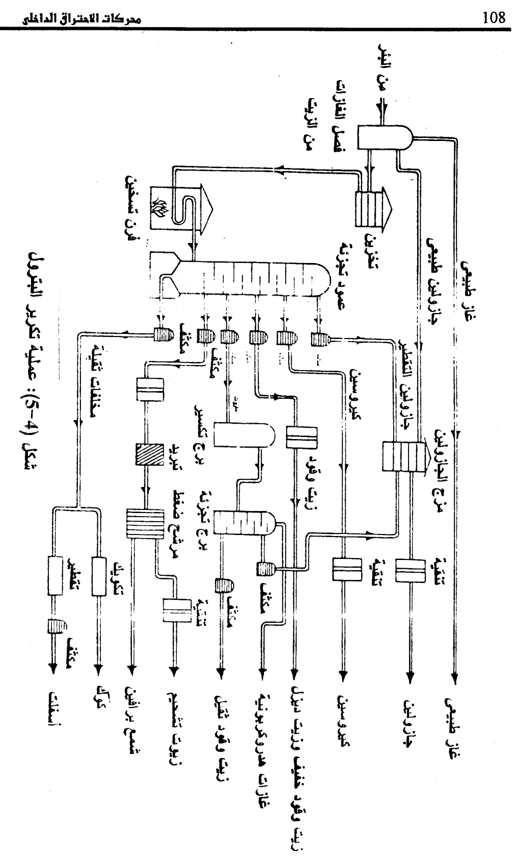
فتحات خاصة مصممة بطريقة تسمح بمرور أبخرة المواد المتطايرة خلالها لتصعد الى الرفوف العليا، بينما تتجمع السوائل المتكثفه على سطوحها وتعود الى الرفوف السفلى.

وعلى هذا الأساس، فأن أبخرة الزيت الخام تدخل فى الجزء الأسفل من برج التجزئة، تنقسم الى عدة أجزاء، فالهيدروكربونات ذات السلاسل القصيرة والتى تكون درجـــــة غليانها منخفضة، تكون هى الأكثر تطايرا ، وتمر على هيئة بخار صاعد الى قمة برج التجزئه، على حين تتكثف أبخرة السوائل الهيدروكربونية الأقل تطايراً، وتتجمع على الرفوف فى منتصف البرج، بينما تتجمع السوائل ذات درجات الغليان المرتفعة من قاعدة البرج.

ويتضح من ذلك أن قمة برج التجزئه هى أبرد مكان فيه، وتخرج منها أبخرة المقطرات الخفيفة (المتطايره) التى لم تتكثف داخل البرج، وبعد أن يتم تبريد هذه الأبخرة فى مكثفات خاصه، وتفصل منها الغازات، تتحول الى سائل الجازولين وهو يتقطر عادة بين 40°- 80°م.

ويجمع الكيروسين من المنطقه التى تقع أسفل قمة البرج، ثم تجمع زيوت الوقود من المنطقه الوسطى، وتجمع الزيوت الثقيله فى الجزء الأسفل من البرج، ويتم تقطير هذه الزيوت الثقيله فيما بعد تحت ضغط مخلخل حتى لا تتفحم بالحرارة، وتفصل منها زيوت التشحيم وشمع البرافين.

أما المخلفات الثقيلة التى تتبقى فى قاع البرج، فيتم سحبها وتعامل معاملة خاصة وينتج منها الأسفلت والبتيومين والكوك. وبالرغم من أختلاف تركيب زيوت البترول المستخرجه من مناطق مختلفة، الا أن جميع هذه الزيوت الخام تخضع لعملية تكرير وتجزئة مماثلة، وتفصل الى قطفات أو أجزاء تستخدم فى مختلف الأغراض. وفيما يلى بعض النواتج الرئيسيه التى يمكن الحصول عليها فى أغلب عمليات تكرير البترول.



شكل (4-5): عملية تكرير البترول

-الجازولـــين:

الجازولين هو الأسم المستعمل حاليا لبنزين السيارات، وهو يعتبر من أهم نواتج تقطير زيت البترول، فهو يستعمل وقودا فى محركات الأحتراق الداخلى ويزداد الطلب عليه فى كل مكان نظرا لانتشار أستخدام السيارات فى عمليات النقل وفى المواصلات. ويمثل الجازولين نحو 40 – 45% من زيت البترول وهو ينتج أما بالتقطير المباشر للبترول الخام أما عن طريق بعض العمليات الأخرى غير المباشرة مثل عمليات التكسير والبلمرة وغيرها.

ويتكون الجازولين من خليط من عدة هيدروكربونات، تتكون جزيئاتها من سلاسل قصيرة من الكربون، ويتراوح عدد ذرات الكربون فى كل سلسلة من خمس ذرات الى تسع أو عشر ذرات، ولا تزيد درجة غليانه فى أغلب الحالات على 100ْم. ويستهلك 90% من الجازولين المنتج على المستوى العالمى، فى أدارة محركات السيارات والشاحنات والجرارات بينما يستهلك القدر الباقى وهو لا يزيد على 10% فى إدارة محركات الطائرات وغيرها من الآلات.

– الكيروســين :

يمثل الكيروسين القطفة التالية التى تفصل بعد الجازولين فى عملية التقطير التجزئى. وحتى عام 1909، كان الكيروسين يمثل نحو 33% من مجموع مقطرات البترول، وكان يستخدم فى عمليات الأضاءة قبل أستخدام الكهرباء، ثم تناقصت الكميات المستخدمة منه تدريجيا حتى وصلت اليوم الى نحو 3% فقط واصبح يستخدم فى بعض المجالات الضيقه مثل عمليات التسخين أو الطهو فى المنازل فى بعض الدول، كما أستعمل وقودا فى الطائرات النفاثه.

– زيت الديزل:

يطلق هذا الأسم على بعض المقطرات التى تزيد درجة غليانها قليلا على الكيروسين، وتستخدم هذه المقطرات فى أدارة محركات الديزل المستخدمة فى الشاحنات وفى السفن وفى القاطرات، وكذلك فى بعض محطات الكهرباء. وقد

ازداد الطلب حديثا على زيت الديزل، وتبلغ الكميات المنتجة حاليا من زيت الديزل مئات الملايين من البراميل كل عام.

– زيت الوقود الخفيف :

يستخدم هذا الزيت في عمليات التسخين وفى الأفران وفى بعض الصناعات وهو يعتبر أحد المنتجات الهامه لصناعة البترول.

– زيت الوقود الثقيل:

يعرف أحيانا بأسم المازوت، وهو زيت ثقيل يستعمل فى عمليات التسخين وفى الأفران فى بعض الصناعات، كما يستخدم كوقود لمراحل بعض السفن وكثافته 0.88 – 0.95 جم/سم^3 ويعتبر زيت الوقود من أرخص منتجات البترول، وذلك يستعمل كثيرا كوقود لمراحل محطات القوى لتوليد الكهرباء. وهذه الزيوت السابقة تعتبر من أهم منتجات البترول ويوضح جدول (4ـ 1) خواص بعض الوقود الناتج من عملية تكرير البترول الخام.

بالإضافة لأنواع الوقود السابقة فهناك بعض منتجات البترول منها:

– زيـــوت التشحـــيم:

تمثل هذه الزيت نسبة صغيرة من منتجات البترول، وتتصف هذه الزيوت بقدرتها العالية على الأحتمال، وبمقاومتها للتأكسد، وهى تستعمل فى تشحيم الأجزاء المتحركة فى الآلات.

جدول (4 — 1) خواص بعض أنواع الوقود والناتج من البترول

الخصائص	بنزيـــن	كيروسيـــن	زيت ديزل	سولار
الوزن النوعى	0.730	0.824	0.866	0.765
كربون %	83.300	83.000	84.240	83.040
أيدروجين %	14.457	12.400	11.940	11.580
أكسجين %	1.070	1.600	1.920	2.820
نيتروجين %	1.090	2.770	0.080	1.400
كبريت %	0.080	0.280	0.820	1.160
القيمة الحرارية (ك.كالورى/كجم)	11280	10900	10830	10840

وهذه الزيوت متعددة الأنواع، فمنها ما يستخدم فى تشحيم آلات النسيج ومنها ما يستخدم فى تشحيم آلات البخار، ومنها أنواع خاصة تستخدم فى تشحيم الآلات المستعملة فى صنع المواد الغذائية الى غير ذلك من الأنواع، ولكل نوع من هذه الأنواع مواصفاته الخاصة.

– الشحـــوم:

تختلف هذه المواد عن زيوت التشحيم، فهى مواد شبة جامدة فى درجات الحرارة العادية. وتستخدم هذه الشحوم فى تشحيم المحاور، وأجزاء الآلات التى تدور بسرعة كبيرة وتتعرض لدرجات حرارة عالية، والتى لا تصلح لها زيوت التشحيم وذلك لأن الشحوم تتصف بثباتها الكيميائى ومقاومتها لظروف التشغيل القاسية.

–الشمـــوع:

يعرف نوع الشمع الذى ينتج البترول بشمع البرافين، وهى تفصل عادة من زيوت التشحيم بتبريدها الى درجة حرارة منخفضة وتترك فترة حتى يتجمد مابها

من شمع. وتستعمل هذه الشموع فى كثير من الأغراض، فقد تستخدم فى صنع بعض قوالب الصب، أو فى صنع بعض الورنيش، أو لإنتاج شموع الأضاءة، كما تستعمل أيضا فى صنع أنواع من الورق الصامد للماء الذى يستخدم فى تعبئة اللبن وفى تغليف الخبز الى غير ذلك من الأغراض.

– الأسفـــــلت:

الأسفلت هو عبارة عن الجزء الثقيل الذى يختلف من عمليات تقطير البترول الخام، وهو يستخدم أساسا فى رصف الطرق وفى عزل الأسقف والجدران عن مصادر الرطوبة.

– كـــوك البترول:

ويستخدم كوك البترول كمصدر للحرارة فى عمليات التسخين فى الصناعة كما يستخدم عامل أختزال فى بعض الصناعات الفلزية، وفى صنع كربيد الكالسيوم الذى يحضر منه غاز الأستيلين، وفى غير ذلك من الأغراض.

– السنـــاج:

السناج عبارة عن دقائق متناهية فى الصغر من الكربون، وهو يحضر بحرق بعض غازات البترول حرقا غير كامل، أى فى وجود قدر غير كاف من الأكسجين كما يحضر جزء كبير من هذا السناج من عمليات التكسير. ويستعمل السناج فى صنع أحبار الطباعة وبعض أنواع الطلاء كما يستخدم فى صنع أطارات السيارات وفى بعض الأغراض الأخرى.

– الغـــــازات:

يتصاعد كثير من الغازات فى أثناء عمليات تكرير زيت البترول، خاصة فى عمليات التكسير ويتنوع تركيب هذه الغازات، فهى قد تحتوى على الهيدروجين والميثان والبروبان والبيوتان وهى هيدروكربونات مشبعة، كما قد تحتوى كذلك على قدر صغير من بعض الغازات غير المشبعة مثل الإيثلين والبروبلين والبيوتلين. ويتم عادة فصل الغازات غير المشبعة من هذا الخليط، وهى تستخدم

فى صنع أنواع متعددة من المواد الكيميائية التى تحتاجها الصناعات الكيميائية المختلفة. أما الغازات البرافينية المشبعة مثل البروبان والبيوتان، فيتم اسالتها وتعبئتها لأستخدمها وقودا فى المنازل تحت أسم البروجاز والبوتاجاز، كما يتم إضافتها أحيانا الى غاز الفحم لزيادة قيمته الحرارية.

4-4- الغاز الطبيعى *Natural gas*

استخدم الأنسان الغازات كمصدر من مصادر الطاقة منذ زمن ليس بالقصير، خاصة تلك الغازات الناتجة من الفحم، مثل غاز الفحم وغاز الماء. وقد استخدم الأنسان الغاز الطبيعى وقوداً فى السنوات الاخيرة، واعتمد عليه جزئيا فى بعض عمليات التدفئة والتسخين، كما استعمله فى بعض الصناعات وفى توليد الكهرباء. ويعتبر الغاز الطبيعى من أكثر أنواع الوقود استخداماً لسهولة نقله وإستخدامه وإرتفاع قيمته الحرارية.

لا توجد حاليا فكرة واضحة عن الكيفية التى نشأ بها هذا الغاز فى باطن الأرض. ونظرا لوجود هذا الغاز فى أغلب الأحوال مصاحبا لزيت البترول، وقد أصبح من المعتقد أن الغاز الطبيعى يمثل مرحلة من المراحل التى مرت بها بقايا الكائنات الحيه فى أثناء تحولها الى زيت البترول بتأثير الضغط المرتفع والحرارة العالية فى باطن الأرض.

ويستخرج الغاز الطبيعى من باطن الأرض بنفس طريقة الحفر المستخدمه فى استخراج البترول. والغاز النقى لا لون له ولا رائحة، وهو يصلح للأستخدام وقودا بطريقة مباشرة، أى يستعمل كما هو دون معالجة، وعادة ما تضاف الى هذا الغاز أحدى المواد العضوية ذات الرائحة المميزة حتى ينتبه الناس لأى تسرب يحدث فى خطوط الأنابيب التى تنقل هذا الغاز، وذلك كى يصبح استعمال هذا الغاز أكثر أمانا.

ويتكون الغاز الطبيعى أساساً من غاز الميثان الذى تبلغ نسبته فى الغاز الطبيعى حوالى 93% بجانب بعض الهيدروكربونات الأخرى مثل الإيثان والبروتان والبيوتان وقد يفصل غازى البروتان والبيوتان من الغاز الطبيعى ويحتفظان فى حالة سائلة فى أسطوانات من الطلب ويستحدم كوقود تحت إسم البوتاجاز.

ويستخدم الغاز الطبيعى اليوم كمصدر للطاقة فى كثير من الدول، وهو يشغل المرتبة الثالثه بعد زيت البترول والفحم. ويستعمل الغاز الطبيعى فى جمهورية مصر العربية فى بعض الصناعات كما فى مصنع سماد اليوريا بأبى قير، كما يستعمل فى أغراض الطهو والتسخين بالمنازل فى القاهرة الكبرى والإسكندرية والمحافظات الكبرى عن طريق شبكة من الأنابيب. ويستخدم الغاز الطبيعى حالياً فى مصر كوقود نظيف فى كثير من السيارات وسائل النقل حالياً فى مصر.

4-5- القيمة الحرارية للوقود: *Calerifie Value*

القيمة الحرارية للوقود هى الطاقة الحرارية الناتجة من احتراق وحدة واحدة من الوقود احتراقاً كاملاً، مع وضع درجة الحرارة الابتدائية فى الأعتبار. وكمية الحرارة الناتجة من الاحتراق يمكن تقديرها بواسطة جهاز خاص يسمى بالمسعر الحرارى *Bomb Calera meter*، وفيه يتم احتراق كمية صغيرة معلومة الوزن من الوقود احتراق تام وامتصاص حرارة الاحتراق الناتجة فى كمية معلومة من الماء المحيط بالمسعر ومنها يقدر كمية حرارة الاحتراق الناتجة من احتراق هذه الكمية من الوقود. ولكن يلاحظ أن نواتج الاختراق بها بخار ماء، وعند تكثيف البخار بالجهاز سوف يضيف كمية من الحرارة إلى الماء المحيط بالمسعر الحرارى ولهذا تعرف هذه الحرارة الناتجة من احتراق بالكمية الحرارية العليا (H. C. V) أو Q_H وهى أكبر من كمية الحرارة التى يمكن الحصول عليها عند احتراق الوقود

فى محركات الاحتراق الداخلى. حيث يخرج بخار الماء مع غازات العادم عند درجات الحرارة العالية دون الاستفادة من هذا القدر الحرارى. وإذا أمكن تقدير قيمة Q_H يمكن إيجاد كمية الحرارة التى تنتج بالمحركات عند احتراق الوقود والتى تعرف بالقيمة الحرارية الصغرى للوقود (L. C. V) أو Q_L من العلاقة التالية.

$$Q_L = Q_H - r\left(\frac{9H}{100} + \frac{W}{100}\right)$$
$$= Q_H - 2500\left(\frac{9H}{100} + \frac{W}{100}\right) \qquad (4-1)$$

حيث:

Q_L = القيمة الحرارية الصغرى للوقود كيلو جول/ كجم.

Q_H = القيمة الحرارية العليا للوقود كيلو جول/ كجم.

r = قيمة الحرارة الكامنة لتكثيف الماء كيلو جول /كجم.

H = النسبة المئوية لكتلة عنصر الأيدروجين فى الوقود (على أساس كتلة)

W = النسب المئوية للرطوبة فى الوقود (على أساس الكتلة).

ويمكن إهمال نسبة الرطوبة بالوقود لصغر قيمتها وبالتالى يمكن كتابة العلاقة السابقة على الصورة الآتية:

$$Q_L = Q_H - 25(9H) \qquad (4-2)$$
$$= Q_H - 225H$$

علاوة على ذلك يمكن تقدير القيمة الحرارية للوقود (L. C. V) أو Q_L بمعرفة محتويات الوقود بالعلاقة التقريبية الآتية والتى تعرف بمعادلة مندليف.

$$Q_L = 33.9(C) + 125.6(H) - 10.9(O - S) - 2.5(9H + W) \qquad (4-3)$$

4-6- احتراق الوقود Fuel Combustion

عند دراسة احتراق الوقود فى الهواء فإن تركيب الوقود يكتب على الصورة $C_n\ H_m\ O_r$ على أساس أن المحتويات الأخرى ذات نسبة ضئيلة بالوقود. وعند الاحتراق فإن الأيدروجين يكون أشد تفاعلاً مع الأكسجين مكوناً بخار ماء بالإضافة إلى كمية من الحرارة نتيجة للتفاعل الكيمائى بالمعادلة الآتية:

$$2H_2+O_2 \rightarrow 2H_2O+heat$$

$$H_2+\frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O+heat$$

$$2kg(H_2)+\frac{32}{2}kg(O_2) \rightarrow 18kg(H_2O)+242000kJ$$

$$mkg(H_2)+\frac{m}{4}(32)kg(O_2) \rightarrow \frac{m}{2}(18)kg(H_2O)+\frac{m}{2}(242000)kJ$$

أما احتراق الكربون فقد يكون احتراق تام فى حالة توفر الأكسجين اللازم على الصورة التالية:

$$C+O_2 \rightarrow CO_2+heat$$

$$12\,kg(C)+32\,kg(O_2) \rightarrow 44\,kg(CO_2)+410000\,kJ$$

$$n\,kg(C)+\frac{n}{12}(32)\,kg(O_2) \rightarrow \frac{n}{12}(44)\,kg(CO_2)+\frac{n}{12}(410000)\,kJ$$

وفى حالة الاحتراق غير التام فإنه يعطى أول أكسيد الكربون.

$$C+\frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO+heat$$

$$12\,kg(C)+\frac{32}{2}kg(O_2) \rightarrow 28\,kg(CO)+124500\,kJ$$

$$n\,kg(C)+\frac{n}{12}(16)\,kg(O_2) \rightarrow \frac{n}{12}(28)\,kg(CO)+\frac{n}{12}(124500)\,kJ$$

وإذا توفر جزء من الهواء فإن أول أكسيد الكربون سوف يتفاعل مع الأكسجين معطيا ثانى أكسيد الكربون:

$$CO+\frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO_2+heat$$

$$28\,kg\,(CO)+\frac{32}{2}kg\,(O_2) \rightarrow 44\,kg\,(CO_2)+285000\,kJ$$

ويمكن كتابة المعادلة العامة لأحتراق الوقود أحتراقاً تاماً على النحو التالى:

$$C_nH_mO_r+\left(n+\frac{m}{4}-\frac{r}{2}\right)O_2 \rightarrow nCO_2+\frac{m}{2}H_2O$$

$$1k\,Mole\,C_nH_mO_r+\left(n+\frac{m}{4}-\frac{r}{2}\right)k\,Mole\,O_2$$

$$\rightarrow nk\,Mole\,CO_2+\frac{m}{2}k\,Mole\,H_2O \qquad (4-4)$$

– الهواء اللازم لاحتراق الوقود:

يتطلب احتراق الوقود فى محركات الاحتراق الداخلى توفير كمية مناسبة من الهواء (وهو المصدر الأساسى للأكسجين اللازم للاحتراق) ليتم الاحتراق التام للوقود، ولتقدير كمية الهواء النظرية لإتمام الاحتراق. وتقدر أولاً كمية الأكسجين والتى يمكن حسابها من معادلات احتراق الوقود السابقة:

$$M_{air}=\frac{8}{3}C+8H-O_r \qquad (4-5)$$

حيث أن O_r , H , C كتلة كل من الكربون والأيدروجين والأكسجين على الترتيب فى كيلو جرام واحد من الوقود. وكما هو معروف أن الأكسجين فى الهواء الجوى يحتل نسبة 23.2% والباقى 76.8% فهى نسبة النتروجين وذلك على أساس الوزن (مع أجمالى الغازات الأخرى لصغر نسبتها والتى لاتتعدى 1%). وبالنسبة للحجم فنسبة الأكسجين 21% والنتروجين 79%. ومن هنا يمكن إيجاد كمية الهواء اللازمة للإحتراق النظرى.

$$M_{air}=\frac{1}{0.232}\left(\frac{8}{3}C+8H-O_r\right)kg_{air}/kg_f \qquad (4-6)$$

ويمكن أيضاً تقديرها من العلاقة :

$$L_{air}=\frac{1}{0.21}\left(\frac{C}{12}+\frac{H}{4}-\frac{O_r}{32}\right)k\,Mole_{air}/kg_f \quad (4-7)$$

ومن العلاقة السابقة يمكن إيجاد كتلة أو حجم الهواء اللازم للاحتراق وذلك على أساس الوزن الجزئى للهواء = 28.97 كجم والحجم الجزئى = 22.4م³ عند درجة الصفر المئوى والضغط الجوى 101.332 كيلو نيوتن /م² (76سم زئبق). وكثافة الهواء عند نفس الظروف الجوية السابقة = 1.293 كجم/م³.

$$M_{air} = 28.97\ L_{air}\ kg_{air}/kg_f$$

$$V_{air} = 22.4\ L_{air}\ M_{air}/kg_f$$

بالإضافة إلى ذلك يمكن إيجاد كمية الهواء اللازمة للاحتراق من المعادلة العامة التالية:

$$C_nH_mO_r+\left(n+\frac{m}{4}-\frac{r}{2}\right)O_2+3.76\left(n+\frac{m}{4}-\frac{r}{2}\right)N_2$$

$$=nCO_2+\frac{m}{2}H_2O+3.76\left(n+\frac{m}{4}-\frac{r}{2}\right)N_2 \quad (4-8)$$

حيث 3.76 هى نسبة حجم النتروجين الى حجم الأكسجين فى الهواء الجوى:

$$\frac{M_{air}}{M_{fuel}}=\frac{\left(n+\frac{m}{4}-\frac{r}{2}\right)32+\left(n+\frac{m}{4}-\frac{r}{2}\right)3.76(28)}{n(12)+m(1)+r(16)} \quad (4-9)$$

مثال:

ماهى كمية الهواء النظرية اللازمة للاحتراق التام لكل من وقود البنزين والسولار. إذا كان وقود البنزين يحتوى على 85.5% كربون 14.5% أيدروجين ـــ ووقود السولار يحتوى على 86% كربون، 13% أيدروجين و 1% أكسجين.

الحل:

كمية الهواء اللازمة يمكن إيجادها من العلاقة:

$$M_{air}=\frac{1}{0.232}\left(\frac{8}{3}C+8H-O_r\right)kg_{air}/kg_f$$

أولاً: وقود البنزين:

$$M_{air}=\frac{1}{0.232}\left(\frac{8}{3}(0.855)+8(0.145)\right)=14.83kg_{air}/kg_{fuel}$$

ثانياً: وقود الديزل:

$$M_{air}=\frac{1}{0.232}\left(\frac{8}{3}(0.86)+8(0.13)-0.01\right)=14.41\ kg_{air}/kg_f$$

كمية الهواء الفعلية التى تدخل إسطوانات المحرك لاحتراق الوقود تختلف عن كمية الهواء النظرية السابقة (M_{air}) والنسبة بين كمية الهواء الفعلية (M_{air}) كمية الهواء النظرية M_{air} تعرف بمعامل زيادة نسبة الهواء (excess air coefficient) ويرمز لها بالرمز α

$$\alpha=\frac{M_{air}}{M_{air}} \qquad (4-10)$$

وهذه النسبة تعتمد على نوع المحرك وطريقة خلط الشحنة ونوع الوقود المستخدم، علاوة على مدى تحميل المحرك من حيث السرعة والحمل، وكذلك على نوع جهاز الحاكم بالإضافة إلى عوامل أخرى وهذه النسبة لبعض المحركات كما يلى:

محركات البنزين	1.1 - 0.8
المحركات الغازية	1.3 - 1.1
محركات الديزل البطيئة	2.0 - 1.6
محركات الديزل السريعة	1.7 - 1.2

4-7- الخصائص العامة للوقود:

تتحد صفات الوقود المستعمل فى محركات الاحتراق الداخلى طبقاً لما يحتويه من عنصر الكبريت والمواد الصمغية والرطوبة علاوة على قيمة كل من درجة الغليان ودرجة الاشتعال الكثافة واللزوجة. وتزداد جودة الوقود كلما قل احتوائه من الكبريت والمواد الصمغية والرطوبة، حيث أن وجود الكبريت سوف يؤدى إلى تكوين حامض الكبريتيك بتفاعله مع الماء وهذا يعمل على تآكل المواد المعدنية بتفاعله معها. والمواد الصمغية إذا زادت نسبتها فإنها تترسب فى أنابيب سحب الوقود (فى محركات الديزل) وكذلك على صمامات السحب (فى محركات البنزين). مما يعوق عملية التغذية للمحركات. أما الرطوبة فأنها تعمل على صعوبة تقويم المحرك فى الصباح نتيجة لتجمعها فى أسفل خزان الوقود، علاوة على تجمدها فى الأجزاء الباردة.

ويجب أن يتوفر فى الوقود الخصائص التالية:

أ- سهولة تقويم المحرك فى الظروف الجوية المختلفة.

ب- ضمان الاحتراق التام وفى الوقت المحدد له بدون ترسيب كربون فى غرفة الاحتراق

جـ- له خاصية تقليل التآكل والأحتكاك بين المكبس والإسطوانة.

د- فى حالة الاحتراق التام يحتوى على أقل مايمكن من الغازات الضارة (السامة) والتى تخرج من ماسورة العادم.

تؤثر خصائص الوقود بدرجة ملحوظة على كفاءة أداء المحرك وعمره الافتراضى وتقاس هذه الخواص عادة بواسطة تجارب معملية وهى كالآتى:

1- الوزن النوعى Specific gravity.

وهو وزن وحدة الحجم من الوقود ويوضح جدول (4-1) السابق قيم الوزن النوعى لبعض أنواع الوقود.

2- نقطة الوميض Flash Point

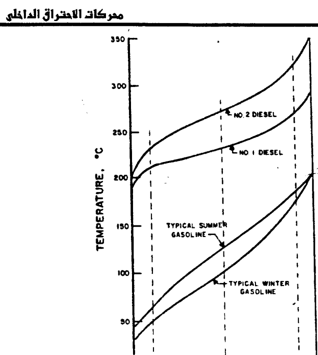
وهى درجة الحرارة التى يبدأ عندها زيت الوقود فى التبخر بكمية قابلة للإحتراق بحيث يمكن أن تشتعل فجأة على صورة وميض إذا قرب منها لهب فى وجود الهواء وهذه الدرجة تدل على مدى خطورة تخزين الوقود ويجب ألا تقل عن 65مْ.

3- التطاير Volatility

تعبر هذه الدرجة عن قابلية الوقود السائل للتحول إلى بخار وتقاس بدرجة الحرارة التى يتم عندها تكثف 90% من مقدار معين من الوقود وعلى ذلك يكون الوقود أكثر تطايراً كلما انخفضت هذه الدرجة. يجب أن يكون الوقود ذو درجة تطاير مناسبة للظروف الجوية المحيطة بالمحرك. فإذا كان الوقود المستعمل صعب التطاير فأنه يؤدى إلى صعوبة عند بدء إدارة المحرك وعدم عمل المحرك بالصورة الطبيعية. وإذا كان سريع التطاير أو ذا درجة غليان منخفضة فأنه يكون على هيئة بخار فى الكربواتير وفى أنابيب التغذية (السحب) مما يؤدى إلى تقليل سريان الوقود إلى المحرك وهذا يسبب عطل للمحرك وإيقافه. ولذلك يجب أن يكون الوقود ذا درجة تطاير معينة ومناسبة للظروف الجوية المحيطة بالمحرك. والشكل (4-6) يبين العلاقة بين نسبة تطاير وقود البنزين والكيروسين والسولار مع درجة الحرارة.

4- اللزوجة Viscosity

وهى تعبر عن مقاومة الوقود للسريان داخل المواسير وتقاس بجهاز يسمى Redwood وهى تناظر عدد الثوانى اللازمة لسريان كمية معينة من الوقود خلال ثقب صغير فى أسفل الجهاز وتقل لزوجة السوائل بزيادة درجة حرارتها لذلك يلزم تسخين أنواع الوقود الثقيل إلى درجة معينة بحيث نحصل على اللزوجة المناسبة ويجب ألا تقل عن حد معين لأنها تؤثر على شكل مخروط نافورة الوقود فى محركات الديزل فيعطى الوقود الأقل لزوجة نافورة أقصر ولايكون الاختلاط بالهواء جيداً فى هذه الحالة.



شكل (4– 6): العلاقة بين نسبة تطاير الوقود مع درجة الحرارة.

5- نقطة التدفق Pour Point

وهى درجة الحرارة التى يبدأ عندها الوقود فى التجمد وتدل على مدى ملاءمة الوقود للإستعمال فى المحركات التى تعمل فى الأجواء الباردة ولذا يلزم وسائل لتسخين صهاريج الوقود ومواسيره.

6- نوعية الإشتعال Ignition quality

وهى تعبر عن مدى قابلية للإشتعال الذاتى داخل غرفة الاحتراق ولها تأثير على ظهرتى الصفع Detonation والدق knocking. فى الظروف العادية يتم التفاعل الكيميائى بين الوقود والهواء (الاحتراق) فى داخل إسطوانات المحرك فى برهة قد تصل إلى جزء من 100 من الثانية أو جزء من 1000 من الثانية فى المحركات السريعة الحركة. ويصحب هذا ارتفاع الضغط فى الإسطوانات بدون صوت.

وفى حالة استعمال وقود ردئ سوف يؤدى إلى سرعة احتراق الوقود فى لحظة زمنية صغيرة جداً ويصحب ذلك زيادة معدل ارتفاع الضغط (ارتفاع مفاجئ فى الضغط) مما يؤدى إلى حدوث صوت بالمحرك ويسمى هذا فى محركات البنزين *detonaticn* وفى محركات الديزل *Diesel Knock* وهو ما يعرف بتصفيق المحرك. وهذا يؤدى إلى حدوث شروخ فى أجزاء المحرك مع خفض فى قدرته مع خروج دخان أسود من ماسورة العادم.

والوقود الجيد ذو الصفات الخاصة والذى يعمل على تقليل التصفيق هو الذى يحتوى على نسبة عالية من الأوكتان *Octane Number* بالنسبة لمحركات البنزين — ويحتوى على نسبة عالية من الستان *Octane Number* بالنسبة لمحركات الديزل.

رقم الأوكتان: *Octane Number*

يقدر رقم الأوكتان للوقود باستخدامه مع محرك قياس *Standard Engine* يتكون من إسطوانة واحدة وفيه يمكن تغيير نسبة الكبس *Compression Ratio* ونبدأ بتشغيل المحرك عند نسبة كبس معينة ثم نبدأ بزيادة نسبة الكبس تدريجياً الى أن يحدث التصفيق بالمحرك *(Detonation)* ويثبت المحرك عند هذه النسبة (نسبة الكبس). بعد ذلك نستبدل هذا الوقود بوقود آخر يحتوى على نسبة معينة من وقود أيزواكتان *Iso - Octane* والذى يمتاز بعدم إحداثه للتصفيق والباقى وقود الهبتان *normal Heptane* والذى يعمل على إحداث التصفيق بالمحرك. ويكرر العمل السابق بتغيير نسبة أيزواكتان والهبتان إلى أن نحصل على نفس التصفيق الذى أعطاه الوقود هى نسبة وقود الأيزواكتان فى الخليط الذى يعطى نفس درجة التصفيق. ونسبة رقم الأوكتان فى البنزين تتراوح مابين 66 الى 98. والوقود ذو الدرجة العالية من الأوكتين يستخدم مع المحركات ذات نسبة الكبس العالية.

رقم الستان: **Cetane Number**

ويحدد رقم الستان للوقود أيضاً فى محرك قياس *Standard Engine* من النوع الديزل يتكون من أسطوانة واحدة. ومجهز بحيث يمكن تسجيل الفترة الزمنية بين بداية رش الوقود وبداية الاحتراق، وكلما زادت هذه الفترة كلما أدى الى التصفيق. ويجرى اختبار الوقود على محرك وتسجل فترة تأخير الأشتعال السابقة. ثم يجرى الاختبار باستخدام وقود يحتوى على نسبة معينة من وقود الستان $C_{16}H_{34}$ (والذى يمتاز بصغر فترة تأخير الاشتعال) إلى وقود الفافتيل والنفثالين $C_{10}H_{7}CH_{3}$ (والذى يحترق بصعوبة) وتسجل فترة تأخير الإشتعال وتكرر نفس العمل على نسب مختلفة من وقود الستان بالنسبة للخليط حتى نحصل على نفس فترة تأخير الإشتعال للوقود المراد تحديد رقم الستان له حيث يكون نسبة وقود الستان فى الخليط هى رقم الستان للوقود. ورقم الستان لمعظم وقود محركات الديزل يتراوح ما بين 40 إلى 60.

7- مقدار الرماد Ash Content

هى مقدار المواد الصلبة الموجودة فى الوقود كبعض المواد المعدنية والسليكا والتى تسبب نحراً سريعاً فى بعض أجزاء المحرك، ويعد الفانيديوم أخطر هذه المواد حيث أنه أثناء احتراقه مع الوقود يترسب أكسيد الفانيديوم بنتا على الأسطح الحديدية مثل صمامات العادم أو ريش التربينه مما يحدث تعرجات فى هذه الأسطح تسبب فقداً فى الطاقة ويحدث ذلك عندما تزيد درجة الحرارة عن 600ْم وإذا تواجد الصوديوم فإنه يتحد مع الفانيديوم ويكون مادة شديدة الصلابة تنصهر عند درجة حرارة 630ْم. ويقاس هذا الرماد بحرق مقدار معين من الوقود حرقاً كاملاً ثم حساب كمية الرماد المتخلف من الإحتراق بالنسبة للوزن الأصلى للوقود.

8- مقدار الكبريت

توجد الكبريت فى الوقود غير مرغوب لما لديه آثار ضارة على المعادن إذ تتحد الغازات الناتجة عن احتراقه مع بخار الماء المتكثف الناتج عن احتراق

هيدروجين الوقود ويتكون بذلك حامض الكبريتيك الذى يسبب تآكل الأجزاء وتزداد هذه الظاهرة عندما يعمل المحرك على الأحمال الجزئية وتنخفض درجة الحرارة.

9- الكربون المتخلف Carbon Residue

يعبر عن كمية المادة المتخلفة بعد تبخير كمية معينة من الوقود فى إناء مغلق وفى معزل عن الهواء ويدل ذلك على مدى قابلية الوقود لتكوين رواسب كربونية خاصية على الرشاشات وشنابر المكبس والبوابات وسطح غرفة الإحتراق ويؤدى إنخفاض كفاءة المحرك وتقليل عمر الإفتراضى.

10- القيمة الحرارية Calorific Value

وهى كمية الحرارة الناتجة من حرق واحد كيلو جرام من الوقود حرقاً كاملاً وتقاس بجهاز Calorimeter وتوجد قيمة حرارية عليا HCV وقيمة حرارية صغرى LCV وتشتمل الأولى على مقدار الحرارة الكامنة لبخار الماء. وذلك كما أوضحنا من قبل.

4-8- أمثلة عن عملية إحتراق الوقود

مثال 1: أوجد النسبة المئوية لنواتج احتراق غاز الميثان CH_4 وذلك على أساس الحجم وذلك فى الحالات التالية:-

أ- $\alpha = 1$ ب- $\alpha = 1.2$ جـ- $\alpha = 0.8$

حيث α **معامل زيادة نسبة الهواء**

الحل:

أ- عندما $\alpha = 1$

A- For Complet Combustion $\alpha = 1$

$$C_nH_m + \left(n+\frac{m}{4}\right)O_2 + 3.8\left(n+\frac{m}{4}\right)N_2 \longrightarrow$$

$$nCO_2 + \frac{m}{2}H_2O + 3.8\left(n+\frac{m}{4}\right)N_2$$

$$\because C_nH_m \equiv CH_4 \qquad \therefore n=1 \quad ,m=4 \quad ,r=0$$

$$\therefore CH_4 + 2O_2 + 7.6N_2 \xrightarrow{\alpha=1} CO_2 + 2H_2O + 7.6N_2$$

$$\frac{A}{F}byVolume = \frac{2+7.6}{1} = 9.6$$

$$\frac{A}{F}byWeight = \frac{2(32)+7.6(28)}{12+4\times1} = 17.3$$

تحليل نواتج العادم بالحجم Exhavst analysis by Volume

$$\%ageofCO_2 = \frac{1}{1+2+7.6}\times100 = 9.4\%$$

$$\%ageofH_2O = \frac{2}{10.6}\times100 = 18.87\%$$

$$\%ageN_2 = \frac{7.6}{10.6}\times100 = 71.7\%$$

تحليل نواتج العادم بالوزن Exhaust analysis by Weight

الوزن الكلى الناتج من الاحتراق Total weight for prduct of combustion:

$$=1(12+32)+2(2+16)+7.6(28)=292.8$$

نسبة ثانى أكسيد الكربون

$$\%age of Co_2 = \frac{1(12+32)}{292.8} \times 100 = 15\%$$

نسبة الماء

$$\%age of H_2O = \frac{2(2+16)}{292.8} \times 100 = 12.3\%$$

نسبة النتروجين

$$\%age of N_2 = \frac{7.6 \times (28)}{292.8} \times 100 = 72.7\%$$

ب- عندما $\alpha = 1.2$

أى أن هناك 20% زيادة فى نسبة الهواء

تؤول المعادلة العامة إلى:

$$C_n H_m + \alpha\left(n+\frac{m}{4}\right)O_2 + 3.8\alpha\left(n+\frac{m}{4}\right)N_2 \longrightarrow$$
$$nCO_2 + \frac{m}{2}H_2O + 3.8\alpha\left(n+\frac{m}{4}\right)N_2 + (\alpha-1)O_2$$

$$\therefore CH_4 + 2.4O_2 + 9.12N_2 \longrightarrow$$
$$CO_2 + 2H_2O + 9.13N_2 + 0.4O_2$$

نسبة الهواء إلى الوقود بالحجم

$$\frac{A}{F} by Volume = \frac{2.4+9.12}{1} = 11.52$$

نسبة الهواء إلى الوقود بالوزن

$$\frac{A}{F} by Weight = \frac{2.4(32)+9.12(28)}{12+4(1)} = 20.76$$

Exhaust analysis by Volume:- تحليل نواتج العادم بالوزن

Total number of moles for product of combustion الوزن الكلى لنواتج العادم

$$= 1+2+9.12+0.4 = 12.52$$

نسبة ثانى أكسيد الكربون $\% age\ of\ Co_2 = \frac{1}{12.52} \times 100 = 7.99\%$

نسبة الماء $\% age\ of\ H_2O = \frac{2}{12.52} \times 100 = 15.97\%$

نسبة النتروجين $\% age\ of\ N_2 = \frac{9.12}{12.52} \times 100 = 72.84\%$

نسبة الأكسجين $\% age\ of\ O_2 = \frac{0.4}{12.52} \times 100 = 3.19\%$

جـ- عندما معامل زيادة الهواء 0.8 (خليط غنى)

$$C_n H_m + \alpha\left(n+\frac{m}{4}\right)O_2 + 3.8\alpha\left(n+\frac{m}{4}\right)N_2 \longrightarrow$$

$$xCO_2 + yH_2O + 3.8\alpha\left(n+\frac{m}{4}\right)N_2 + ZCO$$

$$\therefore CH_4 + 1.6O_2 + 6.08N_2 \longrightarrow xCO_2 + yH_2O +$$
$$ZCO + 6.08N_2$$

إتزان H_2 $z = y$ ....(1)

إتزان الكربون $1 = z + x$ ....(2)

إتزان الأكسجين $1.6 = x + \frac{z}{2} + \frac{y}{z}$ ....(3)

بحل المعادلات الثلاثة السابقة

x = 0.2 , y = 2 , z = 0.8

∴ معادلة الاشتعال

$$CH_4 + 1.6O_2 + 6.08N_2 \rightarrow 0.2CO_2 + 2H_2O$$
$$+ 6.08N_2 + 0.8CO.$$

ومن ثم يمكن حساب نسب الهواء إلى الوقود ونسب نواتج الاشتعال كما أوضحنا من قبل.

مثال2: خليط من الوقود يحتوى على 80% بروبان C_2H_8 و 20% بيوتان C_4H_{10} بالحجم حدث له أحتراق فى زيادة من الهواء مقدارها 20% = α احسب:

(أ) نسبة الهواء إلى الوقود.

(ب) النسبة المئوية لنواتج الاحتراق.

الحل:

الصورة العامة لمعادلة الاحتراق:

$$C_nH_m+\alpha\left(n+\frac{m}{4}\right)O_2+\alpha 3.76\left(n+\frac{m}{4}\right)N_2\rightarrow$$

$$nCO_2+\frac{m}{2}H_2O+\alpha\left(n+\frac{m}{4}\right)*3.76N_2+(\alpha-1)\left(n+\frac{m}{4}\right)O_2$$

$\therefore for 80\% Propare$ لـ 80% بروبان

$$0.8C_3H_8+0.8(1.2)(3+\frac{8}{4})O_2+0.8(1.2)\times 3.76\times(3+\frac{8}{4})N_2$$

$$\rightarrow 0.8(3)CO_2+0.8\left(\frac{8}{2}\right)H_2O+0.8(1.2)(3+\frac{8}{4})\times 3.76N_2$$

$$+0.8(1.2-1)(3+\frac{8}{4})O_2$$

$$\therefore 0.8C_3H_8+4.8O_2+18.048N_2\rightarrow 2.4CO_2+3.2H_2O$$
$$+18.048N_2+0.8O_2\text{........}(1)$$

$For 20\%\ Butan$ لـ 20% بيوتان

$$0.2C_4H_{10}+0.2(1.2)\left(4+\frac{10}{4}\right)O_2+0.2(1.2)\left(4+\frac{10}{4}\right)\times 3.76N_2$$

$$\rightarrow 0.2(4)CO_2+0.2\times\left(\frac{10}{2}\right)H_2O+0.2(1.2)\left(4+\frac{10}{4}\right)3.76N_2$$

$$+0.2(1.2-1)\left(4+\frac{10}{4}\right)O_2$$

$$\therefore 0.2C_4H_{10}+1.560O_2+5.8656N_2\rightarrow 0.8CO_2+H_2O$$
$$+5.8656N_2+0.26O_2\text{.......}\qquad(2)$$

بجمع المعادلتى 1 – 2 تنتج معادلة الاحتراق التالية:

$$0.2C_4H_{10}+0.8C_3H_8+6.36O_2+23.9N_2 \rightarrow 3.2CO_2+4.2H_2O+23.9N_2+1.06O_2$$

نسبة الهواء إلى الوقود بالوزن

$$\frac{A}{F}\ by\,weight = \frac{Air\ weight}{Fuel\,weight}$$

$$= \frac{6.36(32)+23.9(28)}{[(0.2\times 4)+(0.8\times 3)]\ 12+[2+0.8\times 8]}$$

$$= 18.65$$

نسب نواتج الاحتراق (غازات العادم) بالحجم

$$CO_2\% = \frac{3.2(1)\times 100}{3.2+4.2+23.9+1.06} = 9.88\%$$

$$H_2O\% = \frac{4.2\times 100}{32.36} = 12.98\%$$

$$N_2\% = \frac{23.9\times 100}{32.36} = 73.86\%$$

$$O_2\% = \frac{1.06}{32.36}\times 100 = 3.28\%$$

مثال3: وقود يحتوى على 86% كربون، 14% هيدروجين على أساس الوزن أحترق فى زيادة من الهواء بمقدار 10%.

فاحسب:

(أ) النسبة المئوية لنواتج الاحتراق على أساس الوزن.

(ب) نسبة الهواء إلى الوقود على أساس الوزن.

(جـ) كتلة كل ناتج من نواتج وذلك لكل واحد كجم من الوقود.

الحل:

$$\frac{H}{C}=\frac{1m}{12n}=\frac{14}{86}=0.163$$

$$\therefore m=1.956n$$

معادلة الاحتراق على الصورة

$$C_nH_m+\alpha\left(n+\frac{m}{4}\right)O_2+3.8\alpha\left(n+\frac{m}{4}\right)N_2\longrightarrow$$
$$nCO_2+\frac{m}{2}H_2O+3.8\left(n+\frac{m}{4}\right)\alpha N_2+(\alpha-1)\left(n+\frac{m}{4}\right)O_2$$

$$C_nH_m+1.6379nO_2+6.22402nN_2\longrightarrow$$
$$nCO_2+0.978nH_2O+6.22402nN_2+0.1489nO_2$$

$$\therefore N_2=\frac{n(28\times 6.22402)}{n[4.7645+44+17.604+174.272]}$$
$$=72.4\%$$

$$CO_2=\frac{(32+12)n}{240.641n}=18.3\%$$
$$H_2O=\frac{0.978n(16+2)}{240.641n}=7.327\%$$
$$O_2=\frac{0.1489n(32)}{240.641n}=1.98\%$$

– كتلة كل ناتج من نواتج الاحتراق وذلك لكل واحد كجم من الوقود.

(1) $13.956n\ Kg\ Fuel\rightarrow 174.27n\ Kg\,N_2$

$$\therefore N_2=\frac{174.27256}{13.956}=12.48\,Kg\,/\,Kg\ fuel.$$

(2) $13.956n\ Kg\ Fuel \rightarrow 4.7648 \cdot Kg\,O_2$
$\therefore O_2 = 0.3414\ Kg / Kg\ fuel.$

(3) $13.956n\ Kg\ Fuel \rightarrow 44\ Kg\,CO_2$
$\therefore CO_2 = 3.153 Kg / Kg\ fuel.$

(4) $13.956n\ Kg\ Fuel \rightarrow 17.604\ Kg\,H_2O$
$\therefore H_2O = 1.2613 Kg / Kg\ fuel.$

مثال4: أوجد القيمة الحرارية للوقود (L.C.V.) بمعادلة مندلييف إذا كان الوقود يحتوى على 86% كربون و 12.5 هيدروجين و 0.5% أكسجين والباقى رماد.
وقود يحتوى على

$$L.H.V = 33.9(C) + 125.6(H) - 10.9(0-5) - 2.5(9H + W)$$
$$= 33.9(0.86) + 125.6(0.125) - 10.9(0.005) - 2.5(9*0.125)$$
$$= 41.987 MJ/kg$$

مثال5: وقود عبارة عن مخلوط من وقود C_8H_{18} بنسبة 80% و 20% من وقود C_2H_5OH على اساس الحجم – استعمل فى محرك احتراق داخلى مع نسبة زيادة هواء 20%.

أوجد:

1- معادلة الاشتعال.
2- نسبة الهواء إلى الوقود على أساس الوزن.
3- النسب الوزنية لغازات نواتج الاحتراق
4- متوسط الوزن الجزئى.

الحل:

1- معادلة الاشتعال

$$C_nH_mO_r+\alpha\left(n+\frac{m}{4}-\frac{r}{2}\right)O_2+3.76\alpha\left(n+\frac{m}{4}-\frac{r}{2}\right)N_2$$
$$\rightarrow nCO_2+\frac{m}{2}H_2O+3.76\alpha\left(n+\frac{m}{4}-\frac{r}{2}\right)N_2$$
$$+(\alpha-1)\left(n+\frac{m}{4}-\frac{r}{2}\right)O_2$$

For 80% C_8H_{18}

$$0.8C_8H_{18}+0.8*1.2\left(8+\frac{18}{4}\right)O_2+3.76\times(1.2)\left(8+\frac{18}{4}\right)N_2$$
$$-\ 0.8\times 8CO_2+0.8\left(\frac{18}{2}\right)H_2O+0.8(1.2)\left(8+\frac{18}{4}\right)N_2$$
$$+0.8\times 0.2\left(8+\frac{18}{4}\right)O_2$$
$$0.8C_8H_{18}+12\,O_2+45.12\,N_2\rightarrow$$
$$6.4\,CO_2+7.2\,H_2O+45.12\,N_2+2O_2 \text{ ....(1)}$$

for 20% C_2H_6O

$$0.2C_2H_6O+0.2\times 1.2\left(2+\frac{6}{4}-\frac{1}{2}\right)O_2+0.2\times 3.76\times 1.2\left(2+\frac{6}{4}-\frac{1}{2}\right)N_2\rightarrow$$
$$0.2\times 2CO_2+0.2\times\frac{6}{2}H_2O+0.2\times 3.76\times 1.2\left(2+\frac{6}{4}-\frac{1}{2}\right)N_2$$
$$+0.2\times 0.2\left(2+\frac{6}{4}-\frac{1}{2}\right)O_2$$
$$0.2C_2H_6O_2+0.72O_2+2.7072\rightarrow$$
$$0.4CO_2\ 0.6H_2O+2.7072N_2+0.12O_2 \text{ ....(2)}$$

بجمع (1) ، (2) ∴ معادلة الاشتعال هى:

$$0.8C_8H_{18}+0.2C_2H_6O+12.72O_2+47.82N_2$$
$$\rightarrow 6.8CO_2+7.8H_2O+47.82N_2+2.12O_2$$

(2) حساب نسبة الهواء إلى الوقود على أساس الوزن

$$\frac{A}{F}=\frac{12.72\times(32)+47.82(28)}{[(0.8\times8)+(0.2\times2)]\times12+[(0.8\times18)+(0.2\times6)]+0.2\times16}$$

$$=\frac{1746}{[(6.4+0.4)\times12]+[14.4+1.2]+3.2}$$

$$=\frac{1746}{100.4}=17.5$$

(3) حساب النسب الوزنية لنواتج الاحتراق:

$$\begin{aligned}
CO_2 &= 6.8(12+32) = 299.2\\
H_2O &= 7.8(2+16) = 140.4\\
N_2 &= 47.82(28) = 1338.96\\
O_2 &= 2.12(32) = 67.84\\
total &\qquad 1846.4
\end{aligned}$$

$$\therefore \%CO_2=\frac{299.2}{1846.4}=0.162=16.2\%$$

$$\%H_2O=\frac{140.4}{1846.4}=0.076=7.6\%$$

$$\%N_2=\frac{1338.96}{1846.4}=0.725=72.5\%$$

$$\%O_2=\frac{67.84}{1846.4}=0.037=3.7\%$$

$$1 \qquad 100\%$$

(4) متوسط الوزن الجزيئي:

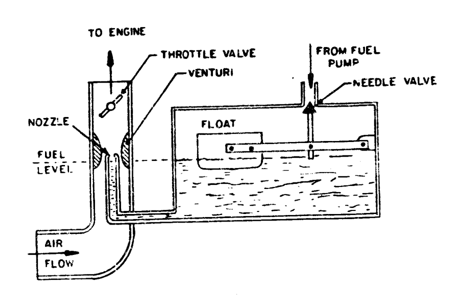
$$M_{av}=\frac{1846.6}{6.8+7.8+47.82+2.12}$$

$$=28.608$$

الباب الخامس

أجـهزة الوقـود فى المحركات

FUEL SYSTEMS IN ENGINES





الباب الخامس

أجهزة الوقود فى المحركات

FUEL SYSTEMS IN ENGINES

5-1- مقدمة

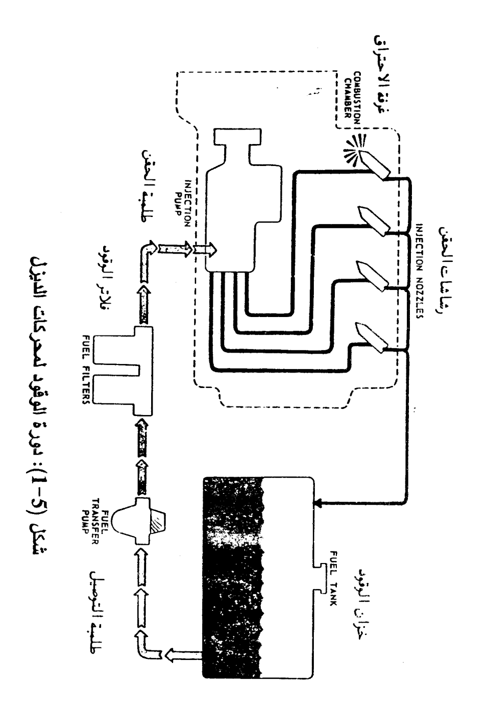
يختلف جهاز الوقود فى محركات الديزل عن تلك الموجود فى محركات البنزين وذلك نظراً لاختلاف الدورة الحرارية ونوع الوقود المستخدم فى كلا المحركان.

5-2- جهاز الوقود فى محركات الديزل"محركات الاشتعال بالضغط"

Fuel System in Diesel Engines

تتكون دورة الوقود لمحركات الديزل كما فى شكل (5-1) من الأجزاء الآتية:-

- خزان الوقود ***Fuel tank***
- طلمبة التوصيل ***Transfer Pump***
- الفلاتر ***Fuel filters***
- طلمبة الحقن ***Injecation pump***
- الرشاشات ***Injections***



شكل (5-1): دورة الوقود لمحركات الديزل

5-2-1- خزان الوقود Fuel tanK

هناك تصميمات مختلفة من خزانات الوقود. وكل حجم وشكل مصمم لمتطلبات محددة ويحتوى خزان الوقود على كمية الوقود اللازم للتشغيل لوقت محدد أو لقطع مسافة محددة، فمثلا يصمم خزان الوقود لمحرك السيارة لقطع مسافة 200 إلى 500 كم أما بالنسبة لمحرك الجرار والمحركات الثابتة يتكون خزان الوقود بسعة بحيث يكفى للعمل على الحمل الكامل لزمن لايقل عن 10ساعات تشغيل. ويمكن وضع خزان الوقود بحيث يتم إمداد مضخة الحقن بالوقود عن طريق التثاقل. أما إذا وضع خزان الوقود تحت مستوى مضخة الحقن فيلزم فى هذه الحالة مضخة تحضيرية "توصيل" وحديثا تزود خزانات الوقود " خصوصا فى الجرارات والآلات واستصلاح الأراضى " بخطين للامداد بالوقود لضمان إمداد المحرك بالوقود بشكل كافى ومناسب عند صعود المرتفعات.

ويزود خزان الوقود بفتحة للملىء. ويحتوى غطاء هذه الفتحة على وسيلة تنفس للضغط على شكل تجاويف صغيرة عادة. ويجب معادلة الفرق بين ضغط الهواء داخل خزان الوقود وخارجه، وخصوصا إذا كانت درجات حرارة الجو المحيط مرتفعة. وعلاوة على ذلك فإنها تقلل من احتمالات حدوث الانفجارات التى يزداد توقع حدوثها عندما يكون الخزان فارغ تقريبا. وتشتمل ماسورة (فتحته) الملىء عادة على مصفاة لتنقية الوقود من الشوائب عند الملىء. ويوجد بأسفل موقع فى خزان الوقود سدادة لتصريف الوقود من الخزان، ولمنع حدوث أى فقد فى الوقود يجب أن تكون السدادة دائما محكمة التركيب.

5-2-2- خطوط الامداد بالوقود Fuel lines

وتصنع خطوط الإمداد بالوقود عادة من المواسير النحاسية او الخراطيم المطاطية المقاومة للتآكل بفعل الوقود. وينبغى بذل عناية خاصة عند تركيب خطوط

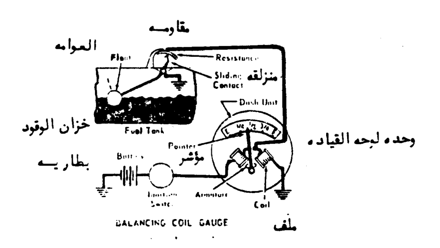
الإمداد بالوقود، فيجب ألا تتحرك أو تتأثر بحركة مكونات المحرك، كما يجب حمايتها من الصدمات التى تحدث أثناء التشغيل وفى حالات خاصة يجب استخدام وسادة مطاطية لهذا الغرض.وينبغى كذلك عدم تركيب خطوط التغذية بالوقود بالقرب من ماسورة العادم حتى لاتتكون فقاعات غازية (بخارية) فى هذه الخطوط، نتيجة لإرتفاع درجة الحرارة، فينشأ عنها ما يعرف بانحباس أبخرة الوقود. وهناك ثلاثة أنواع من خطوط إمداد الوقود وتعتمد بصفة رئيسية على مقدار الضغط وهى: خطوط الضغط العالى ***heavy weight lines*** وتستخدم للضغوط المرتفعة بين مضخة الحقن والرشاشات، وخطوط الوزن المتوسط ***medium weight lines*** وتستخدم للضغوط المتوسطة بين الخزان وطلمبة الحقن، وخطوط الوزن الخفيفة ***light weight lines*** وتستخدم للضغوط الخفيفة بين الرشاشات والخزان. ويلاحظ أن تتساوى أطوال الخطوط ما بين مضخة الحقن والرشاشات. لتساوى الفواقد الاحتكاك فى هذه التوصيلة وبالتالى عدم اختلاف ضغوط الوقود بين الاسطوانات.

3-2-5 مقياس الوقود ***Fuel gauges***

تزود دورة الوقود بمقياس مستوى الوقود فى الخزان، والنوع الشائع استعماله حاليا فى مبينات الوقود الكهربائية ***Electric type*** ويعرف بمقياس ذى ملفى التوازن ***Balancing coil gauge*** وهو يحتوى على وحدة بالخزان ***Tank unit*** ووحدة أخرى على لوحة القيادة تعرف بوحدة القرص ***Disk unit*** .

ويوضح شكل (5-2) مقياس ملفى التوازن حيث تحتوى وحدة الخزان على نقطة اتصال منزلقة تتحرك على مقاومة كهربية إلى الأمام وإلى الخلف أثناء تحرك العوامة إلى أعلى وإلى أسفل بداخل الخزان، مما يغير من مقدار مقاومة الوحدة فى الدائرة الكهربية للمبين وعليه فعندما يفرغ الخزان ***empty*** تسقط العوامة وتتحرك نقطة الاتصال المنزلقة لتقلل مقدار المقاومة فى الدائرة الكهربية.

وتحتوى وحدة لوحة القيادة على ملفين E, F كما هو مبين فـى شـكل (5-2) وعندما يقفل مفتاح الدائرة الكهربية بالمحرك يمر تيـار كهربـى مـن البطاريـة خـلال الملفين ويحدث ذلك مجالا مغناطيسيا يؤثر فى عضو الاستنتاج المسطح المثبت عليه مؤشر. فعندما تكون مقاومة وحدة الخزان كبيرة (الخزان ممتلىء ***filled*** والعوامـة مرتفعة) يكون التيار المار خـلال الملـف E (فـارغ) هـو نفـس التيـار المـار خـلال الملف F (ممتلىء) وعلى ذلك يجذب عضو الاستنتاج إلى اليمين ويبين المؤشر F . ولكن تقل مقاومة وحدة الخزان إذا بدىء فى تفريغ الخـزان وتبعـا لذلـك يمـر مقـدار أكبر من التيار خلال ملف E فى وحدة الخزان ويقل التيار المار فى الملف F ممـا ينتج عنه وجود مجال مغناطيسى أصعب. وبذلك يجذب ملف F عضـو الاسـتنتاج نحوه ويتحرك المؤشر على التدريج متجها نحو E.

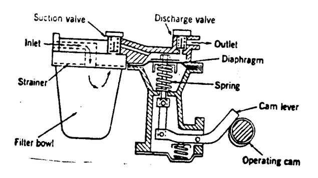


شكل (5-2): مقياس مستوى الوقود

4-2-5 مضخة التوصيل Fuel Transefer Pump

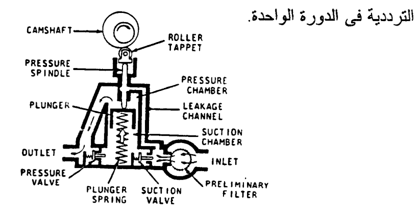
تتطلب دورة الوقود فى محرك الديزل وجود مضخة لسحب الكمية اللازمة من الوقود من خزان الوقود ودفعها عن طريق الفلتر الى مضخة الحقن وتعرف هذه المضخة بمضخة التوصيل شكل(5-3) وتأخذ مضخة التوصيل حركته من المحرك بحيث يتم توصيل الوقود تلقائيا إلى مضخة الحقن وتزود مضخة التوصيل بذراع يعمل يدويا لطرد أى هواء قد يكون موجودا فى خطوط إمداد الوقود.

تركب مضخة الوقود إلى جانبى جسم الإسطوانات فى المحركات ذات الاسطوانات المرئية على خط مستقيم واحد، او بين جسمى الإسطوانات إذا كانت اسطوانات المحرك مرتبة على شكل حرف **V** ويتصل بالمضخة ذراع ذو حركة ترددية يمتد إلى داخل جسم الإسطوانة خلال فتحة به ويستند ذراع الحركة الترددية على عجلة لا مركزية على عمود الكامات وفى محركات إسطوانات **V** يكون ذراع الحركة الترددية مستندا إلى عمود دفع مرتكز عند النهاية السفلى على قرص لا مركزى موجود على عمود الكامات.

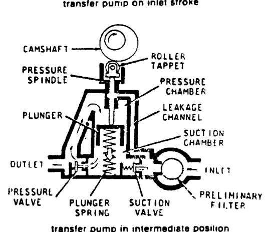


شكل (5-3): مضخة التوصيل

ويوضح شكل (5-4) نمـوذج لمضخـة التوصيـل المسـتخدمة فـى محركـات الديزل، وتعرف هذه المضخة بالمضخة الترددية. يتمثل عمل هذه المضخة فيما يلى: عندما يرفع العمود ويتحرك الكباس إلـى أعلـى فينضغـط الوقـود الموجـود فـى حيـز الوقود العلوى ويندفع إلى ماسورة التصريف، وينتج عـن تحـرك الكبـاس إلـى أعلـى ازدياد حيز الوقود السفلى فيدخـل إليـه الوقـود عـن طريـق صمـام السـحب، وعندمـا يتحرك الكباس إلى أسفل يضغط الياى فيمر الوقود الموجود فى حيز الوقـود السـفلى إلى ماسورة التصريف وأيضا إلى الحيز العلوى للوقود وعندما يتحـرك الكبـاس إلـى أسفل ينشأ فعل السحب مرة اخرى ويندفـع الوقـود الموجـود فـى الحـيز العلـوى إلـى المحرك. ولا يحتاج المحرك اطلاقا إلى الكمية الكليـة للوقـود التـى تدفعهـا المضخـة الترددية فى الدورة الواحدة.



transfer pump on inlet stroke



transfer pump in intermediate position

شكل (5-4): مضخة التوصيل الشائع استخدامها فى محركات الديزل

5-2-5- فلاتر تنقية الـوقود *Fuel Filters*

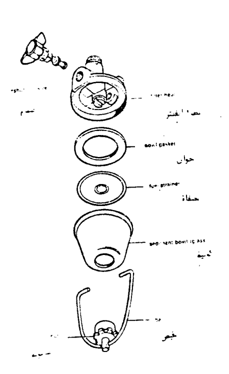
تعتبر عملية تنقية الوقود فى محركات الديزل أكبر أهمية منه فى محركات البنزين وذلك يرجع إلى احتواء وقود الديزل (السولار) على شوائب ودقة الأجزاء المستخدمة فى عملية حقن الوقود وارتفاع تكاليف الصيانة لهذه الاجزاء. فإذا وجدت شوائب فى مضخة الحقن فإنها تتـآكل بسـرعة وبالتـالى يحـدث انخفـاض فـى ضغـط معدل سريان الوقود إلى الإسطوانة مما يؤدى إلـى عـدم ترذيـذ الوقـود. لذلك تلعب الفلاتر دورا هاما جدا وتتوقف عليها عمر مضخـة الحقـن والرشاشـات وهـى أجهـزة دقيقة الصنع وغالية الثمن وتعمل على ضغـط عـالى جدا، لذلـك يجـب حمايتهـا مـن الأتربة والشوائب حتى لا تحدث أى خدش أو انسداد فى هذه الأجهزة ولهـذا تحتـوى دورة الوقود فى محركات الديزل على أكثر من فلتر وهذا لضمان حجز كل الشوائب قبل وصولها إلى مضخـة الحقـن أو الرشـاش. ويوجـد علـى الأقـل فلـترين أو ثلاثـه وهى:

كوب التنقية *Filter Screen*

وهو موجود بين الخزان ومضخة التوصيل ويقوم بتنقية الوقـود قبـل دخولـه مضخة التوصيل وهو عبارة عن وعاء ترشيح مـن الزجـاج يمكـن رؤيـة الجسـيمات الغريبة أو الشوائب من الخارج. ويوضح شكل (5-5) أجزاء كوب التنقيـة ويمكـن خلع الوعاء الزجاجى وفك عنصر الترشيح وذلك بفك الصـامولة المخرشـة وتحريـك السلك المثبت إلى الجنب.

الفلتر الابتـدائى *Primary Filter*

ويعرف أحيانا بالفلتر الخشن حيث يقـوم بإزالـة الأتربـة والشـوائب الخشـنة وبالتالى يحدث تنقية ابتدائية للوقود.



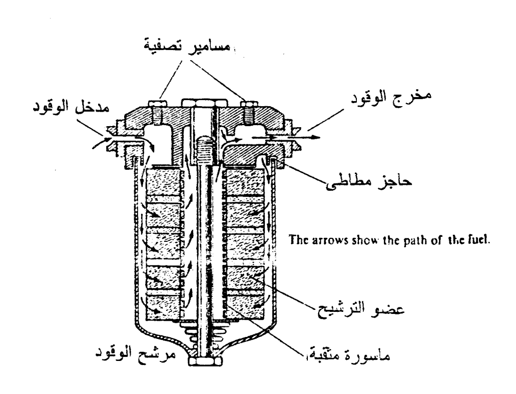
شكل (5-5): أجزاء كوب التنقية

الفلتر الثانوى *Secondary Filter*

ويعرف أحيانا بالفلتر الناعم ويعتبر الفلتر الرئيسى فى خط الوقود ويقوم بالتنقية النهائية للوقود قبل دخوله إلى مضخة الحقن وهو مصمم لاحتجاز أدق الجسيمات الغريبة من الوقود. ويوضح شكل (5-6) قطاع لهذا المرشح. وتتم فيه التنقية بدفع الوقود إلى وعاء الفلتر عن طريق ماسورة التغذية ثم يتغلغل فى عنصر الترشيح (الورق- الحرير الخام-خيوط مختلفه من النسيج) ويسرى إلى حيز التصريف وتحتجز الجسيمات الغريبة فى الفلتر لتستقر فى قاع الوعاء ويمر الوقود إلى مضخة الحقن.

ويتم تركيب الفلترين الابتدائى والثانوى اما علـى التوالـى أو علـى التـوازى. فاذا كان التوصيل على التوالى يمر الوقود على كلا من الفلترين الابتدائى والثانوى. ويعيب التوصيل على التوالى عدم توصيل الوقود فى حالة حدوث إنسداد فى أى مـن الفلترين، ويتميز هذا النوع بأن التنقية تكون أفضل.

أما إذا كان التوصيل على التوازى فتتم التنقيـة بمـرور جـزء مـن الوقـود فـى الفلـتر الأول والجزء الثانى فى الفلتر الثانى. وبذلك لا تتأثر الدورة بحدوث إنسـداد فـى أى من الفلترين.



Fuel filter for a diesel fuel system.

شكل (5-6): قطاع فى الفلتر الثانوى للوقود

5-2-6- جهاز حقن الوقود *Fuel Injection System*

ويشمل جهاز حقن الوقود مضخة الحقن وأجهزة توزيع الوقود وصمامات الحقن. ويقوم جهاز حقن الوقود بالوظائف الآتية:

- ضبط كمية الوقود لكل اسطوانة

وهذا يعنى أن كمية الوقود التى تحقن يجب أن تكون هى الكمية التى نظم عليها جهاز الحقن بالضبط. كما أن كمية الوقود التى تحقن فى إسطوانة ما تساوى ما يحقن فى إسطوانة أخرى وذلك لكل شوط قدرة. وبهذا فقط يمكن ان يدور المحرك بسرعة منتظمة وتكون قدرته الناتجة من جميع إسطوانات المحرك متساوية.

- ضبط توقيت الحقن *Injection Timing*

ويقصد به بدء حقن الوقود فى اللحظة المطلوبة من الدورة الحرارية حتى يمكن الحصول على أقصى قدرة من خليط الوقود والهواء وبذلك يتحقق الاقتصاد فى الوقود والاحتراق النظيف. فإذا حقن الوقود مبكر عن ميعاده فربما تأخر إشعاله لأن درجة حرارة هواء الإسطوانة تكون غير مرتفعة فى هذه اللحظة ارتفاعا كافيا وعند ذلك يتجمع الوقود غير المشتعل داخل الاسطوانة حتى إذا ما اشتعل إزداد الضغط بشدة ويتسبب عن ذلك حدوث ضوضاء. ومن جهة أخرى إذا حقن الوقود متأخرا فسوف لا يحترق الوقود جميعه إلا بعد ابتعاد المكبس كثيرا عن النقطة الميتة العليا ***T.D.C.*** وهذا يعمل على خفض مقدار انتشار الغازات المحترقة، وفى الحالات التى يتأخر فيها حقن الوقود كثيرا لدرجة أن بعض الوقود ربما يظل يحترق عندما يفتح صمام العادم وتكون نتيجة تأخر ميعاد الحقن أنه لايمكن الحصول على أقصى قدرة من المحرك ويكون استهلاك الوقود كبيرا والعادم أسود وحرارته أعلى من المعدل.

- ضبط معدل الحقن

إن معدل حقن الوقود مهم جدا لنفس الأسباب التى ذكرت فى أهمية ضبط التوقيت فإذا كان ميعاد بدء الحقن مضبوطا ومعدل الحقن سريعا فتكون النتيجة مشابهة تماما لحالة الحقن المبكر ولو كان معدل الحقن بطيئا فتكون النتيجة مشابهة تماما لحالة الحقن المتأخر.

- تجزئة الوقود ***Atomization of Fuel***

يجب تجزئة الوقود بحيث يتناسب مع نوع غرفة الاحتراق المستعملة، فبعض غرف الاحتراق يلزم معها تجزئة تامة وبعضها الآخر يمكن أن يعمل مع وقود غير مجزىء تجزئة تامة والتجزئة التامة للوقود تعجل من عملية الاحتراق بسبب سرعة تبخر الوقود وتعويض مساحة أكبر من سطح جزيئاته إلى الأكسجين الذى يساعد على الاحتراق.

- التوزيع الوقود وغرفة الاحتراق

يجب أن يكون توزيع الوقود فى غرفة الاحتراق تاما حتى يصل الوقود أو يتخلل جميع أنحاء غرفة الاحتراق حيث يوجد الأكسجين اللازم للاحتراق، وإذا لم يكن توزيع الوقود تماماً لما أمكن الانتفاع بجميع كمية الأكسجين الموجودة بغرف الاحتراق وترتب على ذلك انخفاض فى قدرة المحرك.

5-2-6-1 - مضخة الحقن Injection pump

تعمل المضخة والرشاش بأكثر من طريقة فمثلا فى محرك أربع إسطوانات - **هناك أكثر من أربعة طرق رئيسية لنظم حقن الوقود شكل (5-7).**

1- مضخه مستقله ورشاش لكل إسطوانة

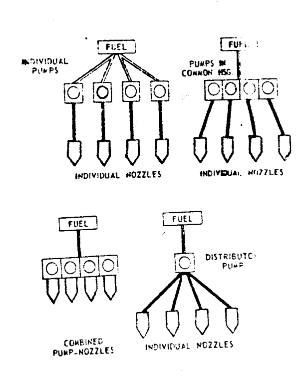
Individual Pump and nozzle for each cylinder

2-مضخه و رشاش معا لكل إسطوانة
Combined pump and nozzle for each cylinder

3-المضخات كلها فى كتله واحده و رشاش لكل إسطوانة
Pump in common housing nozzle for each cylinder(in-line pump)

4- مضخه واحده تخدم كل الرشاش لكل الإسطوانات ***Distriputor type***

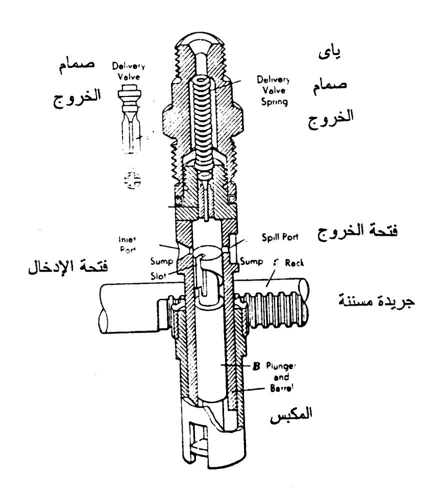
والمضخة المستخدمة فى هذه الطرق تعرف بمضخة الحقن السريع ***Quik delivey pump*** وفى هذه المضخة يتحرك المكبس ببطء اثناء عملية سحب الوقود الى حيز المضخة ***Pump barrel*** لملئها. ودفع الوقود فى انبوبة الرشاش يتم بسرعة، لذا سمى بجهاز الحقن السريع.



Four Ways Of Injecting Fuel In A Four-Cylinder Engine

شكل (5-7): الطرق الرئيسية لنظم حقن الوقود لمحرك أربع إسطوانات

ومضخات الحقن ذات فتحات التحكم تستعمل بكثره وتعرف باسم مضخات "بوش ***Bosch Pump***" وهى موضحه بشكل (5-8) وتتركب من اسطوانة المضخة التى يتحرك داخلها كباس مشكل بطرفه العلوى مجرى حلزونى ***Helical Groove*** ويتحرك الكباس إِلَى أعلى بتأثير كامه موضوعه اسفل المضخه ويعود ثانية إلى أسفل بتأثير ياى ***Spring*** ، وتوجد جلبة تحيط باسطوانة المضخة تحمل فى أعلاها ترسا صغيرا معشقا فى جريدة مسننة ***Rack and gear*** بالمنظم كما يوجد ذراع مستعرض مثبت بالكباس ويوافق مجرى مشكلة بالجزء الأسفل من الجلبة.

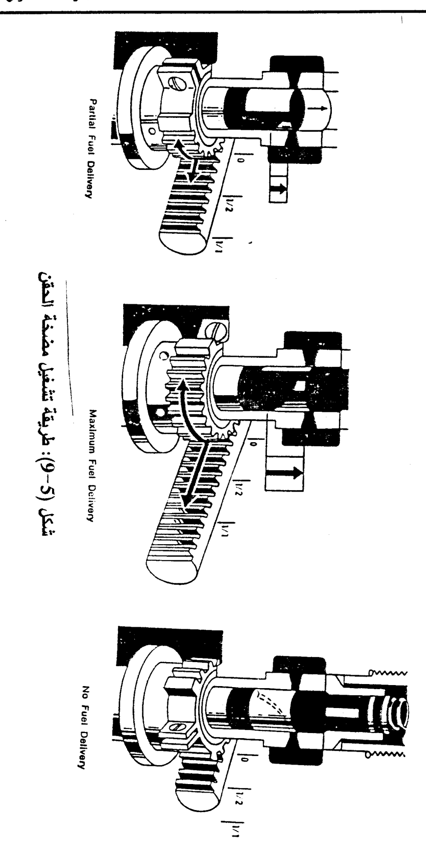


شكل (5-8): مضخة الحقن ذات فتحات التحكم (مضخة بوش)

وبهذا النظام يستطيع المنظم إدارة الكباس بحركة زاوية إلى الوضع المطلوب دون إعاقة حركته المستقيمة المترددة إلى أعلى وإلى أسفل ويوجد بأعلى الإسطوانة فتحتان متقابلتان تتصلان بفتحة دخول الوقود إلى المضخة وتعملان على تغذية الإسطوانة بالوقود، إلا أن الفتحة اليمنى التى تواجه المجرى الحلزونى المشكل بالكباس تعمل ايضا علاوة على تغذيتها للإسطوانه بالوقود على إعادة الوقود الفائض عن الحاجة خارج الإسطوانة ولذلك تسمى بفتحة الفائض. ويلاحظ أن الوقود يصل إلى المضخة تحت ضغط بسيط حتى تكون الفتحات مغمورة دائما بالوقود.

يوضح شكل (5-9) طريقة تشغيل المضخة فى ثلاث مراحل مختلفة ففى الحالـه "A"يكون الكباس فى نهاية شوطه إلى الأسفل وكل من فتحة الدخول وفتحة الفائض مفتوحة فيمتلىء فراغ الإسطوانة الذى بأعلى الكباس وكذلك يتدفق الوقود خلال المجرى الحلزونى ويملؤها.

وعند بدء صعود الكباس فى "B" تغلق الفتحات ويحبس الوقود داخل الإسطوانة ويرتفع ضغطه تدريجيا داخل المضخة ثم يفتح صمام التصريف ***Delivery Valve*** المحمل بياى ويتدفق منه الوقود إلى الرشاش ويتم حقن الوقود فى إسطوانة المحرك بمجرد ارتفاع ضغطه إلى الحد اللازم للحقن. ويستمر الحقن إلى أن يرتفع كباس المضخة بمقدار كاف ويأتى الوضع الذى تكون فيه حالة المجرىالحلزونى أمام فتحة الفائض ***By pass port*** كما فى "C" وفى هذه الحالة يقل الضغط وترتب على ذلك غلق كل من صمام الطرد***Valve Discharge*** ويتوقف الحقن. وهكذا تتكرر العملية ويمكن أن نتبين أن كمية الوقود التى تحقن تتوقف على مقدار الوقت الذى يستغرقه الكباس فى الصعود حتى تكشف فتحة الفائض ويتوقف ذلك على مقدار زاوية الكباس بواسطة الجريدة المسننة المحكومة بالمنظم.



شكل (5-9): طريقة تشغيل مضخة الحقن

وإذا أدير الكباس نحو اليمين حتى يصبح المجرى الرأسى بالكباس مقابلة لفتحة الفائض فلا يكون هناك أى ضغط للمضخة على الإطلاق بسبب الاتصال الدائم بين حيز الإسطوانة بأعلى الكباس وبين فتحة الفائض. ويسمى هذا الوضع بوضع إيقاف المحرك.

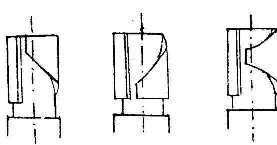
وإذا أدير الكباس إلى اليسار بتأثير الجريدة المسننة فإن حافة المجرى الحلزونية تعمل على تأخير كشف فتحة الفائض أثناء شوط الانضغاط وبذلك يزداد طول الجزء الفعال من الشوط وتزداد كمية الوقود المحفوظة.

ويوضح شكل (5-10) أنواع الكباسات الحلزونية ويسمى الحلزون **a** بالحلزون الاعتيادى ، أما ***b*** فيعرف بالحلزون المعكوس، أما النوع **c** فهو يحتوى على بداية متغيرة بالإضافة إلى نهاية حقن متغيرة أيضا ويعرف بالحلزون السطحى ***Shallower helix***

5-2-6-2- رشاشات الحقن ***Injection Nozzles***

تؤدى الرشاشات وظيفتين رئيسيتين هما:

- فتح وغلق مجرى الوقود نحو غرفة الاحتراق.
- تحويل الوقود السائل ذى الضغط المرتفع إلى رذاذ بالصورة المطلوبة.



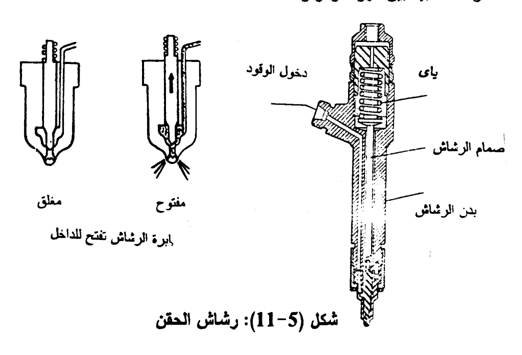
(c) حلزونى ذات نهاية متغيرة (b) حلزونى عكسى (a) حلزونى عادى

شكل(5-10): أنواع الكباسات الحلزونية

ويتكون الرشاش من إبرة تعمل على غلق فتحة الرشاش "الفونيه" بتأثير ضغط الزنبرك. فعندما يكون صمام الابرة مغلقا على قاعدته فإن ضغط الوقود يؤثر على المساحة المظللة (شكل 5-11). وعندما يرتفع ضغط الوقود الى الدرجة المطلوبة ترتفع الإبرة عن قاعدتها ويبدأ الوقود يؤثر بضغطه على طرفا الإبرة أيضا علاوة على تأثيره على السطح الخلفى. وتكون نتيجة زيادة المساحة التى يؤثر عليها ضغط الوقود يؤدى ذلك إلى تعويض انخفاض الضغط الناتج من فتح الرشاش. وبذلك يستمر الرشاش مفتوحا إلى أن ينخفض ضغط الوقود بطبيعته فى نهاية فترة الحقن.

أنواع الرشاشات *Types of Nozzles*

يعتمد نوع الرشاش المستخدم بدرجة كبيرة على نوعية غرفة الاحتراق المستخدمة، حيث أن عملية خلط الوقود والهواء تعتمد على السرعة النسبية بينهما وتتأثر السرعة النسبية بطبيعة حركة الهواء داخل غرفة الاحتراق فهناك نوعان من الحركة النسبية بين الهواء والوقود:



شكل (5-11): رشاش الحقن

النوع الأول: يعود لغرفة الاحتراق المفتوحة وفى هذا النوع من الغرف يكون الوقود هو الباحث عن الهواء ويتم تحريك الهواء عن طريق فتحات مائلة وينشأ عنها دوران الهواء حول الإسطوانة. وهناك رشاشات متعددة الفتحات تقوم بحقن الوقود بضغط يتراوح بين 20 إلى 30 ميجابسكال الى الهواء الذى يدور بسرعة بطيئة. ونتيجه لسرعة الوقود العالية نحصل على خليط جيد. ونتيجه لحركة الهواء البطيئة فإن كمية الحركة الضائعة تكون قليلة مما يجعل أداء غرفة الإحتراق المفتوحة جيد جدا عن بدء التشغيل على البارد ويحسن من كفاءتها الحرارية.

النوع الثانى: يعود إلى غرفة الاحتراق المسبقة التى يكون فيها الهواء هو الباحث عن الوقود. وحيث سرعة الهواء عالية جداً فى هذا النوع من الغرف مما يسمح باستخدام ضغط حقن قليل نسبيا 6.5-10 ميجابسكال و رشاش ذو فتحه واحدة. وعملية الاحتراق فى هذا النوع من الغرف سريعة جدا مما يجعلها ملائمة جدا للمحركات ذات السرعات العالية ومع ذلك ونتيجة لسرعة الهواء العالية تزداد كمية الحرارة المفقودة بحيث يصبح من الضرورى وجود جهاز تسخين خارجى عند بدء التشغيل على البارد.

ولكل نوع من الرشاشات مزايا وعيوب وليس هناك تصميم معين بصورة شاملة، فأنه يجب على الرشاش المستخدم أن يحتوى على خصائص تتوافق مع غرفة الاحتراق المستخدمة معه ويوضح شكل (5-12) أنواع الرشاشات المختلفة. وفيما يلى شرح مبسط لأنواع الرشاشات المستخدمة بالإضافة إلى مزاياها وعيوبها.

- الرشاش ذو الفتحة الواحدة *Singhtly open*

يستخدم هذا النوع في غرف الاحتراق المفتوحة. ويحتوى هذا النوع على فتحة حقن واحدة محفورة على طول جسم الرشاش وقطر الفتحة أكبر من 2،. مم. وعملية حفر الفتحة قد تكون مركزية (على طول خط مركز الرشاش) أو مائلة بزاوية على خط مركز الرشاش. وتستخدم الطريقة الثانية لتلائم بعض المتطلبات الخاصة لغرفة الاحتراق.

من عيوب الرشاش ذو الفتحة الواحدة:

1- جميع الوقود يمر خلال فتحة واحدة، وبما أن سرعة الوقود النسبية يجب أن تكون عالية لذلك فضغط الحقن يكون عاليا جدا.

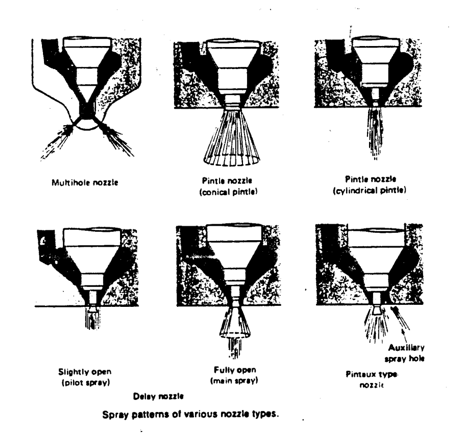
2- إمكانية حدوث التقطير.

3- زاوية الرش ضعيفة جدا (4°-15°) مما يعني عدم الحصول على خليط جيد إلا إذا ازدادت سرعة الهواء.

ويتميز هذا النوع باتساع ثقب الفوهة وبذلك يقل خطر إعاقة حقن الوقود.

- الرشاشات متعددة الثقوب *Multi-hole nozzles*

تستخدم الرشاشات المتعددة الثقوب لغرض خلط الوقود بصورة جيدة حتى عندما تكون حركة الهواء بطيئة كما هو الحال في غرف الاحتراق المباشرة المفتوحة ويتراوح عدد الفتحات ما بين 4 إلى 18 فتحة أما قطر الفتحة فإنه يتراوح ما بين 35،. الى 1.5 مم. تحفر الفتحات بصورة متناظرة أو بتوزيع معين وذلك لتلائم غرفة الاحتراق المستخدمة. ويلاحظ أنه كلما تعددت الثقوب في الفوهة كلما قلت أقطارها وترتب على ذلك ضرورة استعمال وقود تام النظافة.



Spray patterns of various nozzle types.

شكل (5-12): أنواع رشاشات الحقن

– الرشاشات ذات المحور الارتكازى الرأسى *Pintle Nozzles*

يسمى بالرشاش ذى الدليل لأن طرف الإبرة يمتد إلى خارج "الفوهة" ويتكون بين الإبرة والفوهة فراغ حلقى يمر فيه الوقود ويشكل طرف الإبرة بالنسبة للشكل المطلوب لنافورة الوقود، فأما أن تكون النافورة إسطوانة جوفاء ***Cylindrical*** أو مخروطية ***Conical*** جوفاء بزاوية مقدارها 60° تقريبا، بغرض تجنب الحقن الضعيف وتكون القطرات بجهاز محور الدوران بنتوء يسمى بنتل ***Pintle*** يبرز خلال فتحة الرشاش. ويكون شكل النتوء إما إسطوانى ***Cylindrical pintle*** أو مخروطى ***Conical pintle***. عندما يرتفع الصمام يقوم النتوء بحجز الفوهة بصورة جزئية بحيث لا يسمح بزيادة انخفاض مقدار الضغط. وعندما يستمر الصمام فى الارتفاع تصبح الفوهة غير مغطاة وبذلك نحصل على مساحة كاملة للمرور. وهكذا يتم تجنب حدوث التقطير. ويكون شكل الرش عبارة عن مخروط مجوف ومن الممكن تغيير زاوية المخروط مابين صفر° إلى60°، وذلك عن طريق تغيير طرف النتوء.

ويستخدم رشاش بنتل فى غرف الاحتراق المسبقة والخلايا الهوائية وغرف الدوامات العالية وذلك لتذرية الوقود بصورة جيدة. كما أن ضغط الوقود عند استخدام الرشاش بنتل أقل بالمقارنة مع ضغط الوقود باستخدام الرشاشات ذات الفتحة الواحدة أو متعددة الفتحات. ويمتاز هذا التصميم فى أن حركة الإبرة تعمل على تنظيف الفوهة من الكربون ويصنع كل من صمام الإبرة والفوهة من سبيكة الفولاذ المصلدة لتقليل تآكل المعدن.

– رشاش بنتاكس *Pintaux*

عندما نضخ الوقود باتجاه معاكس لحركة الهواء فإن ذلك يؤدى إلى زيادة **التبادل الحرارى بين الوقود والهواء. مما يسبب ارتفاع الكفاءة فى بدء التشغيل على البارد.** مع ذلك فإن ضخ جميع الوقود بهذه الطريقة يقلل من كفاءة الاحتراق بدرجة

كبيرة نتيجة لرجوع نواتج الاحتراق إلى ممر الحقن لهذا يستخدم رشاش بنتاكس ***Pintaux*** لغرض تحسين أداء بدء التشغيل على البارد بدون إحداث أى تأثيرات على الكفاءة.

يحتوى رشاش بنتاكس ***Pintaux*** كما يوضح شكل (5-12) السابق على فتحة إضافية فى جسم الرشاش وتسمح هذه الفتحة بحقن كمية قليلة من الوقود باتجاه معاكس لاتجاه حركة الهواء وذلك لفترة قصيرة قبل بداية الحقن الرئيسى الذى يكون اتجاهه باتجاه حركة الهواء ويلاحظ أن إبرة الصمام لا ترتفع بصورة كاملة عند السرعات المنخفضة ولهذا فإن معظم الوقود يحقن من خلال الفتحة الجانبية مما يجعل أداء بدء التشغيل على البارد جيد.

ويعيب رشاش بنتاكس تعرض الفتحة الجانبية للانسداد ومع ذلك فإن انسداد الفتحة الجانبية لايؤثر بدرجة كبيرة على الأداء ويمكن التغلب على هذه المشكلة باستخدام تنقية جيدة للوقود.

لكل غرفة احتراق خاصية رش مثالية يمكن الحصول عليها معمليا، وليس هناك خاصية رش فاعله يمكن تطبيقها على النحو التالى.

- فى غرفة الحقن المباشر وفى حالة عدم وجود حركة قوية للهواء لابد من توجيه الرش إلى جميع أجزاء غرفة الاحتراق عن طريق استخدام رشاش متعدد الفتحات.
- وجود حركة قوية للهواء يقلل من التأثير على أداء المحرك، لذلك يفضل وجود حركة قوية للهواء.
- يجب أن لا تزيد فترة الرش عند الحمل الكامل عن 30° من زاوية عمود الكرنك.

6-2-5 غرف الاحتراق Combustion Chambers

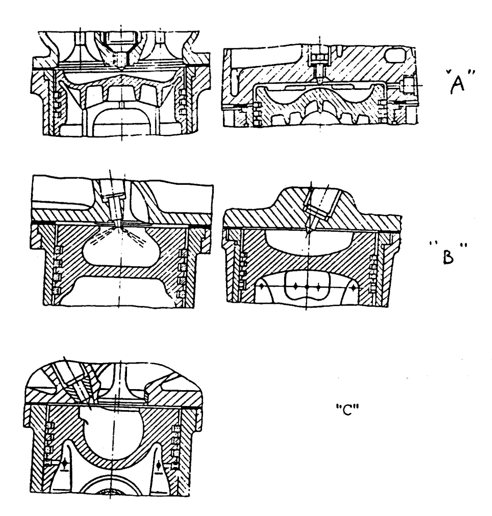
لضمان احتراق الوقود احتراقا تاما وسريعا يجب الإمداد بكمية وفيرة من الهواء وخلط جيد للهواء مع الوقود ويتم تحقيق ذلك بالتحكم فى شكل غرفة الاحتراق ويمكن أن تقسم تصميمات غرف الاحتراق إلى:

- غرف الحقن المباشر ***Direct Injection Chambers***
- غرف الدوامات (الإثارة) ***Turbulence Chambers***
- غرف الاحتراق المبدئى ***Pre-Combustion Chambers***
- غرف الاحتراق ذات خلية الهواء ***Air Cell chamber***

- غرف الحقن المباشر *Direct Injection Chambers*

يدل هذا المصطلح على أن الوقود يحقن مباشرة فى غرفة الاحتراق. وتتكون غرفة الاحتراق فى هذه الحالة من الجزء العلوى للإسطوانة وتجويف فى سطح المكبس، ويوضح شكل (5-13) غرف الحقن المباشر، النوع ***a*** عبارة عن تجويف سطحى فى رأس المكبس وفيه تكون درجة الإثارة ***Turbulence*** محددة ويلزم رفع ضغط الحقن ليساعد على زيادة طول النفث وبالتالى زيادة الإثارة وتحسين التداخل. النوع ***b*** عبارة عن تجويف مخروطى يؤدى إلى أعلى درجات الإثارة مما يمكن من خفض ضغط الحقن ، النوع c عبارة عن تجويف كروى فى المكبس يؤدى الى تحسين درجة الاثارة وعليه يمكن خفض ضغط الحقن. ومن خواص الحقن المباشر ما يلى:-

1- تحتاج إلى ضغط عالى لحقن الوقود وبذلك يكون تصميم الرشاش دقيق وغالى.
2- لها كفاءة حرارية عالية حيث أن كمية الحرارة المنقولة من السطح اقل لأن نسبة سطح الغرفة إلى حجمها أقل ما يمكن.
3- سهولة فى بدء إدارة المحرك.
4- تحتاج إلى نسبة صحيحة من الوقود والهواء ***(F/A)***



شكل (5-13): نماذج من غرف الاحتراق المباشر

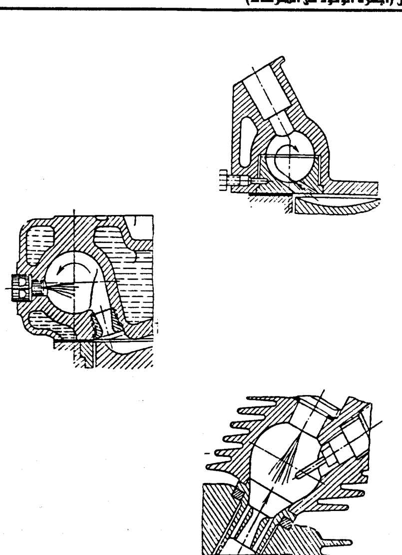
– **غرف الدوامات *Turbulence Chambers***

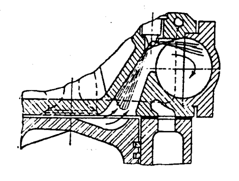
فى بعض التصميمات توجد غرف الدوامات فى المكبس ذاته، وفى تصميمات أخرى توجد فى رأس الإسطوانة. ويوضح شكل (5-14) نموذج لغرف الدوامات. فحينما يتحرك المكبس إلى أعلى يندفع الهواء إلى داخل غرف الدوامات وهناك تكون الدوامات شديدة ويحقن الوقود فى اتجاة عكس حركة الدوامات، وتصبح السرعة النسبية ***Relative Velocity*** بين الوقود والهواء كبيرة جدا مما يزيد من معامل انتقال الحرارة من الهواء الساخن الى الوقود ويساعد على احتراقه فى وقت قصير نسبيا مما يؤدى الى ارتفاع كفاءة الاحتراق.

– **غرف الاحتراق المبدئية *Per-Combustion Chambers***

فى غرف الحقن المباشر وغرف الدوامات يكون أقصى ضغط كبيراً جدا ونظرا لأن زمن الاحتراق صغير فيحدث معظم الاحتراق عند ثبوت الحجم وهذا يؤدى إلى زيادة الدق ***Hammer*** على كرسى المحاور مما يتلفها فضلا عن أن تذبذب الضغط بين 1 إلى 80 جوى يؤدى إلى اجهادات تعب فى المعدن، وكذلك يسبب عدم انتظام دوران المحرك ***Rough running*** بسبب التذبذب الشديد فى منحنى العزم ثم أن جهاز الحقن يجب أن يصمم على الضغوط العالية والوقود المستخدم يجب أن يكون نظيفا للغاية فى حالة المحركات سريعة الدوران وإلا سدت فتحات الرشاش. وهذه العيوب أمكن تجنبها فى تصميم غرف الاحتراق المبدئية.

وتعتمد فكرة غرف الاحتراق المبدئية على تقسيم غرف الاحتراق إلى قسمين: غرفة احتراق مبدئى ***Per-Combustion Chamber*** وغرفة احتراق رئيسية ***Main Combustion Chamber*** يتصلان ببعضهما بواسطة فتحات ضيقة للغاية، والهواء اللازم للاحتراق مقسم بينهما ويتراوح حجم غرفة الاحتراق المبدئى بين 30٪ إلى40٪ من مجموع الحجم الكلى للغرفتين.





شكل (5-14): نماذج من غرف الدوامات وغرف الاحتراق المبدئي

أثناء شوط الانضغاط يكون الضغط داخل الغرفة الرئيسية أعلى من الضغط داخل الغرفة الابتدائية، ويتجمع جزء من الهواء داخل غرفة الاحتراق الابتدائية ثم يحقن الوقود كله فيها، وينتج عن ذلك احتراق غير تام مصحوبا بارتفاع فى الضغط، مما يؤدى إلى اندفاع الغازات فى الغرفة الرئيسية بسرعة كبيرة مما يسبب دوامات وإثارة تؤدى إلى اختلاط الغازات غير المحترقة بالهواء مما يساعد على الاحتراق التام فى الغرفة الرئيسية ويلاحظ أن عملية الاحتراق منذ حقن الوقود فى الغرفة الابتدائية إلى حين إتمام العملية فى الغرفة الرئيسية تستلزم وقتا طويلا يؤدى إلى انخفاض أقصى ضغط بمقارنته بغرف الحقن المباشر أو غرف الدوامات، وبانخفاض أقصى ضغط الحقن، ويمكن استخدام الرشاش ذى الدليل ***Pintle type*** حيث يندفع الوقود على هيئة مخروط إلى داخل غرفة الاحتراق. كذلك يمكن استخدام الوقود الثقيل الرخيص الثمن ويستحسن منحنى العزم ويخف الضغط على الكراسى مما يجعل هذا المحرك صالحا للاستخدام فى حالة السرعة الدورانية العالية. ومن خواص غرف الاحتراق المبدئية ما يلى:

1- كفاءتها الحرارية أقل حيث أن ***Cut off ratio*** كبيرة، وأيضا نسبة مساحة الغرفة إلى حجمها أكبر من الحالة السابقة ***Open Chamber*** .
2- تحتاج إلى ضغط منخفض لحقن الوقود . فالرشاش يكون مبسط فى تصميمه.
3- هذا النوع من الغرف ممكن أن تقبل وقود مختلف فى الرقم الستينى
4- معدل استهلاك الوقود أعلى.

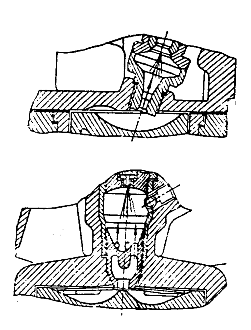
وتشترك معها فى هذه الخواص غرف الدوامات فيما عدا أن غرف الدوامات تحتاج إلى ضغط أعلى لحقن الوقود عن غرف الاحتراق المبدئية.

- غرف الاحتراق ذات خلية الهواء *Air cell chambers*

هذا التصميم عبارة عن خلية تحتوى على ثلث كمية الهواء اللازم للاحتراق وتتصل بغرفة الهواء بواسطة فتحة ضيقة. وعند حقن الوقود فى الغرفة يكون

الاحتراق غير تام، ويتحرك المكبس بحيث يقل الضغط داخل خلية الهواء دائما اعلى من ضغط الغازات خارجيا ـ والا حدث انسياب عكسى وبخروج الهواء يتم الاحتراق فى فترة طويلة مما يقلل من اقصى ضغط داخل الاسطوانة. ويوضح شكل (5-15) غرفة الاحتراق ذات خلية الهواء.

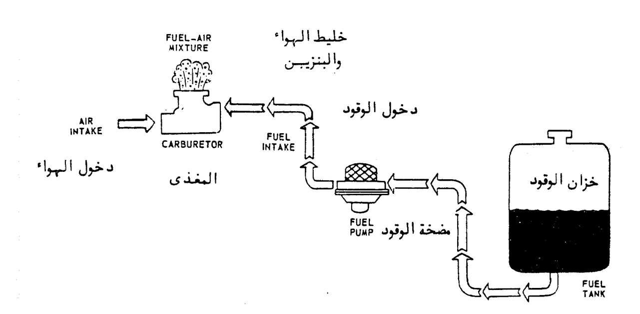
ولهذا النوع نفس المزايا السابق ذكرها فى محركات الاحتراق المبدئى. فيما عدا أنه يحتاج إلى وقود له رقم ستينى محدد وكفاءته الحرارية أقل من الغرف المباشرة والاحتراق المبدئى. ويجب أن يكون الرشاش دقيق الصنع مع صيانة مستمرة. وأيضا طرق بدء المحرك هنا أسهل عن الأحوال السابقة وتحتاج إلى مدة طويلة لعملية الاشتعال.



شكل (5-15): غرفة الاحتراق ذات خلية الهواء

5-3- دورة الوقود فى البنزين " محركات الاشتعال بالشرارة "
Fuel System in Spark Ignition Engine

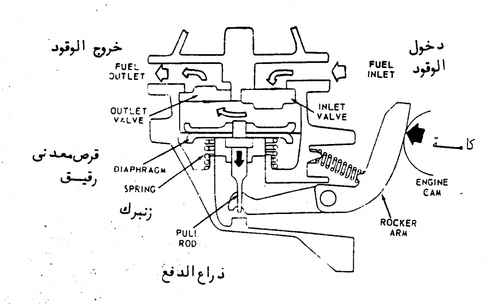
فى محركات الاشتعال بالشرارة يتم تحضير خليط الوقود والهواء خارج إسطوانة، لذلك فهناك اختلاف فى دورة الوقود فى محركات الاشتعال بالشرارة عنها فى محركات الديزل، وتتكون دورة الوقود فى محركات البنزين كما فى شكل (5-16) من الأجزاء الآتية :- خزان الوقود ***Fuel tank***، مضخة الوقود ***Fuel pump***، الفلاتر ***Filters*** ، المغذى ***Carburetor***. ووظيفة جهاز الوقود هو إمداد المحرك بخليط الهواء والوقود بكمية مناسبة وتوزيع المخلوط بنظام على كل إسطوانة.



شكل (5-16): دورة الوقود فى محرك البنزين

5-3-1- مضخة الوقود *Fuel Pump*

تستخدم مضخة الوقود بغرض دفع الوقود من الخزان إلى المغذى بحيث تقوم مضخة الوقود بإمداد المغذى بكميات الوقود التى يحتاجها وتأخذ المضخة حركتها من عمود الكامات للمحرك بواسطة قرص لامركزى (كامة). ويوضح شكل (4-17) مضخة الوفود يستخدم معها قرص معدنى رقيق يقوم بوظيفة الكباس، ويهتز هذا القرص إلى أعلى وإلى اسفل بمقدار 6مم تقريبا بتأثير كامة تؤثر على طرف رافعة مرتكزة على محور فعندما يؤثر أنف الكامة على الرافعة فإنها تتحرك حول المحور جاذبة معها ذراع السحب إلى أسفل فينضغط الزنبرك ويتحرك القرص المعدنى الرقيق إلى اسفل فيحدث تفريغ جزئى فوقه يعمل على فتح صمام السحب، ويسحب البنزين عن طريق ماسورة التغذية. وعندما يزول تأثير الكامة على الرافعة يندفع القرص إلى أعلى بتأثير الزنبرك ضاغطا على البنزين ويدفعه الى فتحة الخروج عن طريق صمام الطرد ومنها إلى المغذى.



شكل (5-17): مضخة الوقود

فى بعض الأحيان تزود محركات البنزين بمضخات وقود كهربائية **Electric Fuel Pump** تدار بالكهرباء. وتتميز هذه المضخات بأنه يمكن تركيبها فى أى موضع بالنسبة للمحرك فضلا عن أنها تبدأ فى العمل بمجرد توصيل الدائرة الكهربائية للمحرك، أى قبل بدء حركة المحرك نفسه. ويستخدم فى الحالات التى تكون المضخة الميكانيكية غير مقبولة من الناحية العملية. وهى تشبه المضخة ذات القرص المعدنى، ولذلك فطريقة عملها لا تختلف إلا فى ميكانيكية أدائها. ويوضح شكل (5-18) رسما تخطيطيا لمضخة وقود كهربائية، فعندما تصل الكهرباء إلى المغناطيس الكهربائى **Electoromagnet** من البطارية (بتوصيل مفتاح دائرة الاشعال) فإنه يدفع عضو الاستنتاج **Armature** إلى أسفل وبذلك يتمدد المنفاخ المعدنى **Bellows** فيحدث تخلخل ويدخل الوقود إليه وعندما يصل إلى نهاية حركته إلى أسفل تفتح مجموعة قطعتى اتصال مما يفصل المغناطيس الكهربى عن البطارية ويندفع عضو الاستنتاج إلى أعلى بواسطة زنبرك فيضغط المنفاخ، مما ينتج عنه خروج الوقود خلال صمام الخروج **Outlet Valve** ومن ثم إلى المغذى، وعندما يصل عضو الاستنتاج إلى النهاية العليا لحركته تقفل قطعتا الاتصال وبذلك يتصل المغناطيس الكهربى بالدائرة الكهربية وتعمل الطاقة المغناطيسية على جذب عضو الاستنتاج إلى أسفل ثانية. وتتكرر هذه العملية ما دام مفتاح الاشعال مقفلا.

5-3-2 المغذى (الكاربواتير) Carburetor

نظرا لأن جميع أنواع الوقود السائل غير قابلة للاشعال إلا إذا بخرت. لذلك كان من الضرورى تبخيرها ثم اشعال بخارها. وقد كانت الطريقة المتبعة قديما لعملية التبخير هى أن يعرض سطح البنزين السائل لتيار من الهواء بفعل امتصاص المحرك فيتشبع ببخار الوقود أما الآن فتتم عملية التبخير بواسطة المغذى وهو جهاز يستعمل فى تغذية محركات البنزين والكيروسين بالشحنة اللازمة والتى تتكون من مخلوط من الهواء وبخار البنزين أو الجاز الأبيض بنسبة توافق تصميم المحرك

حيث أن بخار الوقود بمفرده لا يمكن إشعاله، فلابد لذلك من خلطه بالهواء قبل استعماله فى إسطوانة المحرك.

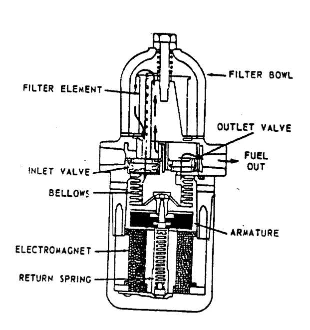
والمغذى جهاز ميكانيكى مصمم لكى يفى بالشروط التالية:

1- تغيير كمية الوقود السائل اللازمة لإنتاج نسبة الهواء إلى الوقود المطلوبة من قبل المحرك عند جميع السرعات والأحمال.

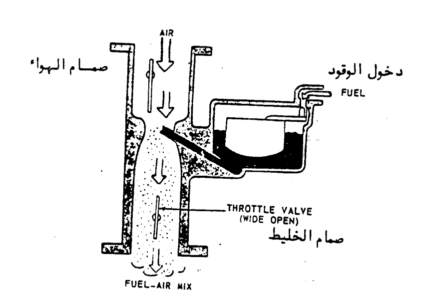
2- تذرية الوقود وخلطه بصورة متجانسة مع الهواء. يلاحظ أن نسبة الهواء إلى الوقود المرغوبة فى المحركات الثابتة هى النسبة التى يكون عندها اقتصاد الوقود أقصى ما يمكن. أما فى محركات المركبات فهى تعد من أصعب المتطلبات التى يجب أن يفى بها المغذى وذلك لتغيير السرعة،

المغذى البسيط (*Simple of Carburetor*)

بغرض فهم المغذى الحديث المعقد لابد من دراسة المغذى البسيط الذى يقوم بتجهيز خليط الهواء - الوقود فى الظروف العادية وبسرعة واحدة ومن ثم تقوم بإضافة أجزاء ميكانيكية أخرى له لكى نستطيع فهم أداء واجباته. ويتكون المغذى البسيط شكل (5-19) من غرفة العوامة ***Float*** ، منفاث ***Nozzles***، صمام فنشورى ***Choke Valve***، صمام الخانق ***Throtte Valve*** .



شكل (5-18): رسماً تخطيطياً لمضخة وقود كهربائية



شكل (5-19): المغذى البسيط

أ- العوامة وغرفة العوامة:

تتصل النافورة بغرفة العوامة، وهذه الغرفة تتغذى بالبنزين عن طريق ماسورة. وتحكم مقدار البنزين فى الغرفة العوامة ***Float*** مصنوعة من الفلين أو من ألواح رقيقة من النحاس الأصفر أو الأحمر وهى مجوفة وملحومة جيدا حتى لا يتسرب البنزين داخلها فيعمل ذلك على زيادة وزنها، وهذا يغير من مستوى البنزين الأساسى فى النافورة أو يفيض البنزين فيها وفائدة العوامة المحافظة على مستوى ثابت للبنزين فى الغرفة. ويجب أن يكون هذا المستوى منخفضا عن فوهة النافورة ويرتكز على السطح العلوى للعوامة صمام إبرة فإذا ارتفع سطح البنزين عن المستوى المحدد ـ ترتفع العوامة وتغلق الصمام ويمنع دخول البنزين من الخزان إلى الغرفة. ولو انحفض سطح البنزين انخفضت العوامة معه فيفتح الصمام فيدخل البنزين. وعلى ذلك تعمل العوامة على المحافظة على مستوى ثابت للبنزين ليس فقط فى غرفة العوامة، ولكن أيضا فى النافورة. ويلاحظ أن أى تغيير فى كثافة البنزين يحتم تغير وزن العوامة للمحافظة على هذا المستوى الثابت. والنافورة عبارة عن أنبوبة صغيرة يصل إليها البنزين من غرفة العوامة ومن فوهتها، يسحب البنزين مع تيار الهواء المار خلال ماسورة الخنق، وتوضع فتحة النافورة بحيث تكون فى مستوى أصغر قطر لماسورة الخنق.

ب- غرفة الخلط:

هى الممر المحتوى على النافورة ويختلط الهواء والبنزين بداخله، وهى ذات قطر ثابت، عدا الجزء المحيط بالنافورة، حيث توجد أنبوبة فنشورية الشكل وتسمى أنبوبة الاختناق لأنها تعمل على اختناق الهواء أثناء مروره. وتتصل غرفة الخلط بإسطوانات المحرك عن طريق ماسورة وصمام السحب، وعلى ذلك فأثناء مشوار السحب (يكون صمام السحب مفتوح) فينتقل الانخفاض فى الضغط من إسطوانة المحرك إلى غرفة الخلط. فإذا فرض أن كمية الهواء المارة خلال أنبوبة الاختناق تبقى دائما ثابتة فينتج عن ذلك أن سرعة الهواء يجب أن تزداد كلما اقترب من

أضيق قطر فى أنبوبة الاختناق وبناء على ذلك تزداد عملية مص البنزين من فوهة النافورة الموضوعة عند هذا القطر نتيجة للتفريغ الذى بمقتضاه يتصاعد البنزين من فوهة النافورة على هيئة رزاز رفيع. من ذلك يتضح أن الغرض من أنبوبة الاختناق هو العمل على زيادة سرعة تيار الهواء المسحوب خلال المبخر وتشبعه بكمية من بخار البنزين الضرورية واللازمة لإدارة المحرك بكفاية تامة.

جـ- صمام الاختناق *Throttle Valve*

وهو عبارة عن قرص معدنى دائرى قابل للدوران حول محور فى وسطه، وعلى ذلك يمكن أن يأخذ أى وضع بين الفتح التام ***Wide open*** عندما يكون وضعه فى اتجاه مرور الخليط أو مغلقا عندما يتحرك 90° فيمنع مرور أى كمية من الخليط من الوصول إلى المحرك. وبذلك يتحكم فى فتحة مرور المخلوط ليعمل على تكبيرها أو تصغيرها، وبه يمكن ضبط سرعة المحرك بفتحه أو غلقه بواسطة روافع. فإذا تصورنا أن المحرك يدور وصمام الاختناق فى وضع متوسط وازداد فتح الصمام فتقل مقاومة مرور الهواء ويترتب على ذلك أن تزداد سرعة مروره حول النافورة " فى الاختناق " فيقل ضغطه، ويترتب على ذلك زيادة فتح الصمام زيادة فى كمية البنزين المسحوبة من خلال النافورة، وبمعنى آخر الحصول على مخلوط غنى من الهواء والبنزين، وهذا بمعنى زيادة فى قدرة المحرك. وهذا يعنى أن كمية المخلوط الذى تزود به الإسطوانة يتوقف على زاوية الفتح. ومن ناحية أخرى فإذا أغلق صمام الاختناق، تنخفض سرعة الهواء حول النافورة ويتبع ذلك ضعف المخلوط الذى ينشأ عنه انخفاض فى قدرة المحرك.

أهم عيوب المغذى البسيط:

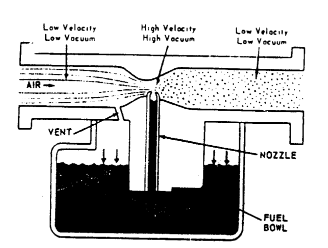
1- زيادة درجة الخليط بزيادة سرعة سريان الهواء أو بزيادة الارتفاع.
2- غير قادر على تجهيز وقود غنى عند تشغيل المحرك عند الاحمال الخفيفة.
3- غير قادر على تجهيز وقود غنى عند التشغيل على البارد.
4- استهلاكه للوقود عند بدء التحميل يكون كبيراً جدا.

والمغذى البسيط غير صالح للاستعمال إلا مع المحركات ذات السرعة الثابتة. ففى هذا النوع من المغذيات يمكن عمل مخلوط ذو نسبة تركيب معينة فقط فى حالة التشغيل الثابت المحدد أى مع محركات ذات سرعه ثابته وبزاوية فتح ثابتة لصمام الاختناق. وفى المحركات التى لا تدور بسرعة ثابتة فإذا ما كان المغذى ذا نافورة واحدة، فإن الزيادة فى سرعة الهواء المسحوب من خلال أنبوبة الاختناق تكون نتيجتها تغير نسبة المخلوط لزيادة كمية الوقود، ويترتب على ذلك زيادة قوة الخليط كلما زادت سرعة المحرك وبالمثل إذا ما انخفضت سرعة المحرك قلت كمية الوقود بالنسبة لكمية الهواء واصبح المخلوط ضعيفا. وبديهى أن التغير فى نسبة المخلوط غير مرغوب فيه، اذ أنه ما صمم المحرك ليشتغل على نسبة معينة من المخلوط لكى يعطى أحسن نتيجة من حيث الاحتراق والقدرة والاقتصاد عند سرعة وحمل معينيين لا يشتغل على هذه النسبة عند تغيير سرعته والحمل الواقع عليه وهذا يعمل على عدم انتظام دورانه. لذلك لا يصلح المغذى البسيط ذو النافورة الواحدة فى المحركات التى تغير سرعتها وحملها، وقد استعاض عنه بمغذيات حديثة روعى فيها أن تعطى نسبة ثابتة من المخلوط علاوة على جعل الخلوط قويا عند بدء حركة المحرك كى تصبح عملية التقويم سهلة. وكذلك عندما يدور المحرك بسرعة التباطؤ.

هناك تصميمات مختلفة للمغذى تعتمد على اتجاه سير الهواء اليه. فمنها الأنواع التالية:

– **المغذى ذو السحب الطبيعى** ***The Natural Draft Carburetor***

يكون اتجاه سحب الهواء وسريان المخلوط فى الاتجاه الأفقى شكل (5–20). ويمكن الاستفادة من درجة حرارة مياه التبريد أو غازات العادم فى تسخين المخلوط ليكون فى صورة بخار قبل دخوله إلى المحرك. ويكون مكان المغذى فى أعلى المحرك.



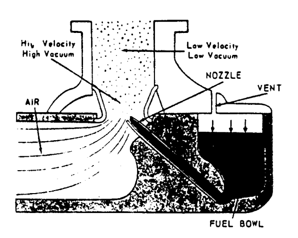
شكل (5-20): المغذى ذو السحب الطبيعى

- المغذى ذو السحب إلى أعلى *Updraft Carburetor*

المغذى ذو السحب إلى أعلى (شكل 5-21) يستخدم عندما يتم سحب الوقود بواسطة الجاذبية الأرضية، ولذلك يجب وضع خزان الوقود فى مكان عالى بالنسبة للمحرك. ولهذا نحتاج إلى سرعات عالية من الهواء لكى يتم سحب الوقود ويكون قطر الاختناق صغيراً نسبيا

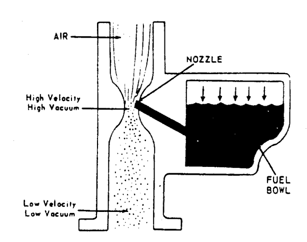
- المغذى ذو السحب إلى أسفل *Downdraft carburetor*

المغذى ذو السحب إلى أسفل(شكل 5-22) يستخدم فى المحركات التى تحتاج إلى كميات كبيرة من المخلوط أى فى المحركات التى تعمل على سرعات وقدرة عالية. وفى هذا النوع يصل الوقود إلى المحرك حتى لو كانت سرعة الهواء بطيئة.



Updraft Carburetor

شكل (5-21): المغذى ذو السحب الى أعلى



Downdraft Carburetor

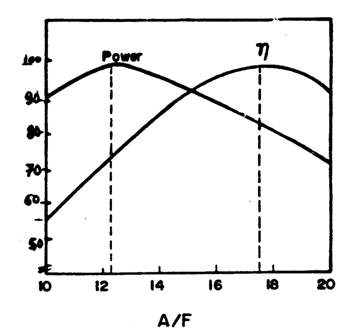
شكل (5-22): المغذى ذو السحب إلى أسفل

والأنواع الثلاثة تشترك فى أنه لابد من وجود مصدر للوقود وحفظه عند مستوى معين فى الغرفة، وهذا يتم عن طريق العوامة ***Float*** والهواء اللازم سحبه إلى المغذى يجب أن يكون نقيا خاليا من الشوائب والأتربه حتى لا يحدث انسداد له، وهذا يتم فى فلتر الهواء ***Air Filter*** ويجب ألا يحدث انسداد فى مرور الهواء من الفلتر إلى المغذى حتى لا يحدث احتراق غير كامل للوقود مما يترتب عنه انخفاض فى القدرة الناتجة وزيادة فى معدل استهلاك الوقود. ويمكن التحكم فى كمية الهواء الداخل إلى المغذى عن طريق صمام الهواء ***Chock Valve*** وعن طريقه يمكن أن يعطى نسبة ***(F/A)*** عالية ويكون هذا خليط غنى ***Rich*** وهذا ما يحتاج المحرك، مثلا عند بدء إدارته وخصوصا فى الجو البارد.

– خواص النسب المختلفة لخليط الهواء والبنزين

Properties of the air fuel mexture

لكى يكون الخليط متجانسا وقابل للاشتعال فإن هناك حدود لنسب الخلط بين الوقود والهواء لا يجوز تجاوزها. فالخليط الغنى تكون فيه نسبة كتلة الهواء إلى الوقود 7:1، والخليط الضعيف 20:1 ، ويوضح شكل (5–23) تأثير نسبة الهواء إلى الوقود على القدرة والكفاءة ومعدل استهلاك الوقود النوعى. يلاحظ فى هذا المنحنى أن نسبة الهواء إلى الوقود تكون عندها أقصى قدرة ***Max-power*** يمكن أن تختلف عن نسبة الهواء التى عندها نحصل على أفضل كفاءة للمحرك ، وبالتالى أفضل اقتصاد فى استهلاك الوقود ونلاحظ أن أقصى قدرة نحصل عليها عندما تكون نسبة الهواء الى الوقود حوالى 12:1، ونلاحظ أيضا أن أقصى كفاءة للمحرك تكون عند نسبة الهواء إلى الوقود 17:1. وفيما يلى النسب المختلفة ***(F/A)*** لحالات تشغيل المحرك بوحدات الوزن 4 : 1 لبدء الحركة، 11 : 1 لسرعة التباطؤ والسرعة البسيطة، 1:12 لأقصى قدرة وسرعة، 1:15.5 لتشغيل أقصى للوقود.



شكل (5-23): تأثير نسبة الهواء إلى الوقود على القدرة والكفاءة

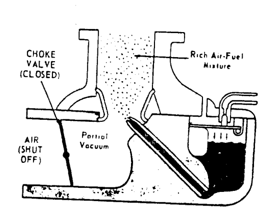
- دوائر المغذى

أ- دائرة خانق الهواء *Choke System*

دائرة خانق الهواء أو دائرة بدء بالحركة (شكل 5-24) وعند بداية الحركة "المحرك البارد" نحتاج إلى خليط غنى جداً. ويتم ذلك عندما يكون صمام الهواء مغلقاً فإن دخول الهواء يقل أو ينعدم ويزيد من التفريغ. ويستعمل نظام خانق الهواء لمدة قليلة ليساعد فى دوران المحرك المستمر. وعندما يسخن المحرك يفتح الصمام يدويا أو أتوماتيكيا.

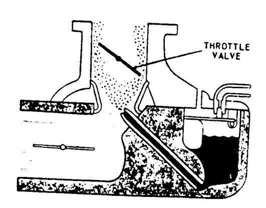
ب- دائرة خانق الخليط *Throttle System*

بواسطة جهاز الحاكم يتم للمحافظة على سرعة المحرك تحت ظروف الحمل المختلفة. حيث يتحكم الحاكم فى فتح صمام خانق الخليط طبقاً للحمل والسرعة المطلوبة ويوضح شكل (5 - 25) نظام خانق الخليط.



Choke System for Updraft Carburetor

شكل (5-24): دائرة خانق الهواء



Throttle System for Updraft Carburetor

شكل (5-25): دائرة خانق الخليط

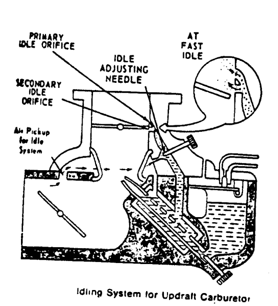
جـ- دائرة التباطؤ والسرعة المنخفضة *The Idling System*

عندما يتباطأ المحرك أو يعمل على سرعة منخفضة، يغلق صمام الاختناق أو يكاد يغلق. ويعنى هذا أن مقدارا صغيرا فقط من الهواء يمكنه السريان خلال المغذى. ويكون سريان الهواء صغيرا فى الواقع لدرجة أنه لا ينشأ مقدار محسوس من التفريغ فى مختنق المغذى. ويعنى هذا أن نافورة الوقود الرئيسية لا تقوم بإمداد أى قدر من البنزين تحت هذه الظروف.

وتبدأ دائرة التباطؤ والسرعة عملها حينما يكون صمام الاختناق مغلقا تقريبا. وتمد المحرك بخليط الهواء والوقود الذى يحتاج إليه المحرك لكى يعمل. ويوضح شكل (5-26) دائرة التباطؤ. عندما يغلق صمام الاختناق يحدث تفريغ عالى فى مجمع السحب أو تحت صمام الاختناق وقت دوران المحرك وبذلك يدفع الضغط الجوى الهواء والبنزين خلال دائرة التباطؤ. ومنها حول مسمار ضبط السرعة البطيئة، حينما يختلط مع الهواء المتسرب عبر صمام الأختناق ليكون خليطا غنيا مناسبا لعملية التباطؤ. ولتغيير مقدار الخليط يدار مسمار ضبط السرعة البطيئة للداخل أو للخارج. فعند إدارته للخارج، يزداد حجم الفتحة حول طرف إبرة المسمار فيزيد مقدار خليط الهواء والوقود الذى يمكنه المرور خلال فتحة التباطؤ ويصبح الخليط غنى. وبإدارة مسمار الضبط للداخل فيقل مقدار خليط الهواء والوقود الذى يمكنه المرور خلال فتحة التباطؤ، وهذا يؤدى إلى مخلوط فقير.

د- دائرة السرعات البطيئة والإدارة بدون حمل:

يمر مقدار صغير من الهواء خلال بوق الهواء إذا كان صمام الخانق مقفلا أو مفتوحا فتحة صغيرة. وعندئذ تكون سرعة الهواء بطيئة وتنعدم عملية الخلخلة الفنشورى. ومعنى ذلك توقف نافورة الوقود عن إمداد الهواء المار بالمغذى بالوقود، وعليه فيجب على المغذى أن يجد له طريقة أخرى لتزويد الهواء بالوقود عندما يكون صمام الاختناق مقفلا أو مفتوحا فتحة بسيطة. وتسمى هذه الدائرة دائرة الإدارة بدون حمل والسرعات البطيئة

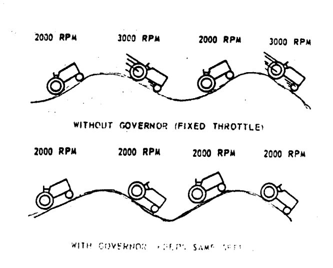


Idling System for Updraft Carburetor

شكل (5-26): دائرة التباطؤ

4-5 - منظم المحرك *ENGINE GOVERNER*

تتناسب القدرة الناتجة من المحرك مع كمية الوقود المحترقة داخل إسطوانة. فإذا زادت كمية الوقود بحيث تزيد القدرة البيانية عن العمل الذى يريده المحرك فسوف تزيد سرعة المحرك تبعا لذلك، أما إذا زاد حمل المحرك عن القدرة البيانية الناتجة فسوف تقل سرعة المحرك لدرجة أنه قد يقف تماما إذا زادت درجة التحميل كثيرا عن القدرة الناتجة من المحرك. وحتى يعمل المحرك عند سرعة ثابتة مع أحمال متغيرة. فلابد أن يتغير معدل تدفق الوقود المحترق فيه بطريقة تضمن لنا تناسب القدرة الناتجة مع الحمل الواقع عند تلك السرعة المطلوبة. وعلى سبيل المثال نجد أنه لو سار الجرار فى أرض مستوية فإن السائق يقوم بضبط سرعة المحرك على السرعة المرغوب فيها ولكن إذا قابل الجرار فى طريقه منخفضات أو مرتفعات بسيطة أى تتوقع تغيير المقاومات على الجرار فأن سرعة المحرك تقل أو تزيد حسب تغيير هذه المقاومات أو الأحمال التى يقابلها الجرار كما هو موضح بشكل (5-27).



شكل (5-27): تغير الأحمال والمقاومات على محرك الجرار

المنظم *GOVERNER* أو جهاز الحاكم هو الجهاز الذى يمكن بواسطته التحكم فى كمية الوقود اللازمة لتغذية المحرك عند الأحمال المختلفة فعندما تقل سرعة المحرك يجب أن يفتح الخانق أكثر حتى يصل إلى الإسطوانة وقود أكثر وعندما تزيد السرعة يجب أن يقلل من تدفق الوقود. ووظيفة منظم السرعة هو القيام بهذا العمل بسرعة ودقة وبطريقة " تلقائية" فبمجرد تغير سرعة المحرك فإن المنظم يعمل على ضبط معدل تدفق الوقود كى تتناسب كميته مع الحمل.

5-4-1 أنواع المنظمات السرعه

أ- منظم السرعة الثابتة:

يعمل منظم السرعة على بقاء سرعة المحرك ثابتة. أى سرعة واحدة مهما تغير الحمل أى من حالة الإدارة بدون حمل إلى حالة الحمل الكلى.

ب- منظم السرعة المتغيرة:

وهو منظم يحافظ على سرعة ثابتة مختارة للمحرك تبدأ من سرعة الإدارة بدون حمل إلى أقصى سرعة ممكنة.

جـ- منظم حدى للسرعة:

الغرض من هذا المنظم هو تنظيم سرعة المحرك عند أقل سرعة أو عند أقصى سرعة. والمنظم الذى لا يسمح للمحرك بأن تزيد سرعته عن حد أقصى يسمى منظم الحد الأقصى للسرعة. ويجب ملاحظة أن منظم حدى السرعة لايعمل على تنظيم السرعة عندما تكون هذه السرعة واقعة بين الحد الأدنى والأقصى للسرعة المصمم عليها المحرك.

د- منظم إيقاف المحرك عند تجاوزه للسرعة المأمونة:

يعمل على غلق الوقود كلية فى حالة زيادة سرعة المحرك عن حد معلوم، ويعتبر جهاز أمن فقط.

5-4-2 كيفية عمل منظم:

فى حالة قيام المنظم بتنظيم سرعة المحرك يجب عليه كخطوة أولى قياس السرعة، فإن جميع أنواع المنظمات من أبسطها إلى أدقها تشتمل على أداة دقيقة لقياس السرعة. وبعد قيام المنظم بقياس السرعة يجب عليه كخطوة ثانية تحويل دلالة أجزاء قياس السرعة (عندما يحدث تغير فى السرعة) إلى حركة تنتقل إلى جهاز حقن الوقود عن طريق عدة روافع. وبذلك يتم تنظيم مقدار الوقود المحقون فى إسطوانة المحرك. يحتفظ بسرعة ثابتة ويطلق على النوع العادى منه اسم منظم السرعة.

5-4-3 منظم السرعة الثابتة:

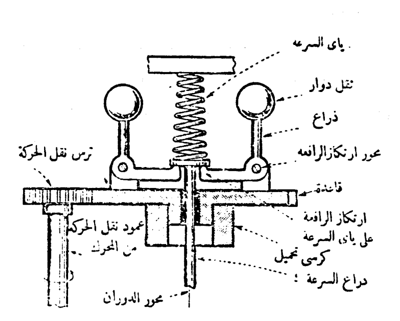
يتوقف عمل منظم السرعة الثابتة على أنه كلما حدث تغير فى حمل المحرك حدث تغير فى سرعته. ويلاحظ أن القدرة التى يمكن الحصول عليها من أى محرك من محركات الاحتراق الداخلى تتوقف على مقدار الوقود المحترق فى الإسطوانة (إلى الحد الذى يتناسب مع طاقة المحرك). وبمعنى أخر أنه لو حقن بمعدل أكبر فالمحرك يعطى قدرة أكبر. فلو كانت القدرة التى يعطيها المحرك تزيد عن القدرة المطلوبة (العمل) فالقدرة الزائدة تعمل على زيادة سرعة المحرك. ومن جهة أخرى إذا زاد الحمل عن القدرة التى يعطيها المحرك تقل سرعته.

ومن ذلك نرى أنه إذا كان معدل تدفق الوقود إلى المحرك ثابتا لازادت سرعته حتى ولو قل العمل وتبطئ سرعته إذا زاد الحمل ويمكن أن نذهب أكثر من ذلك فنقول أن المحرك يسرع جدا إذا أزيل العمل، ومن جهة أخرى فإن المحرك يقف عن الحركة إذا زاد الحمل.

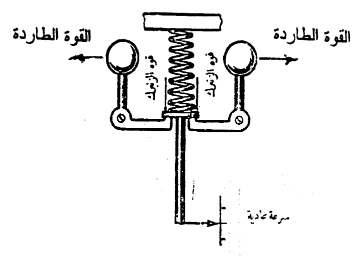
ولكى يشتغل المحرك عند سرعة ثابتة يجب أن يتغير معدل تدفق الوقود بطريقة ما بحيث تكون القدرة التى يولدها المحرك متساوية تماما للحاجة عند

السرعة المطلوبة. ويتم ذلك إما بأن يقف العامل بجانب المحرك ويعمل على ضبط صمام خانق فى طريق تدفق الوقود إلى المحرك وذلك عندما يلاحظ تحرك مؤشر عداد السرعة إذا كان المحرك مزودا بعداد.

يقوم المنظم بقياس السرعة أولاً والتصميم البسيط كما فى شكل (5-28) يوضح أن هناك ثقلين كل منهما مثبت فى نهاية ذراع رأسى من رافعة ترتكز على قاعدة تستمد حركتها من المحرك بتروس خاصة. وبذلك يكتسب الثقلان سرعة دورانية وقوة طرد تتناسب مع سرعة المحرك. وتكون هذه القوة فى اتجاهين مختلفين وتتزن بواسطة زنبرك. ويوضح شكل (5-29) وضع التوازن بين القوة الطاردة للأثقال وقوة الزنبرك عند السرعة العادية للمحرك. ويلاحظ أذرع الأثقال رأسية الوضع



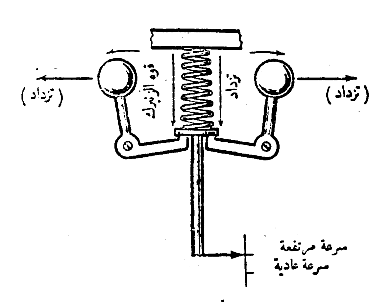
شكل (5-28): التصميم البسيط



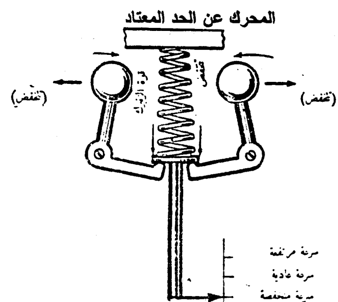
شكل (5-29) وضع التوازن بين القوة الطاردة للأثقال وقوة الزنبرك عند السرعة العادية للمحرك

فإذا زادت سرعة المحرك تزداد القوة الطاردة للأثقال فتجعلها تتحرك خارج محور الدوران. وتعمل حركة الأثقال الخارجية هذه على رفع طرفي الرافعتين وينضغط الزنبرك قليلا فتزداد قوته المضادة ويحدث التوازن عند النقطة التي تتساوى فيها القوى الطاردة مع القوة الجديدة للزنبرك وذلك عند وضع جديد للأثقال يكون بعيدا إلى الخارج كما هو واضح من شكل (5-30).

ويكون التأثير عكسيا إذا ما قلت السرعة حيث تقل القوة الطاردة للأثقال ويعمل الزنبرك على دفعها إلى الداخل حيث تصل إلى وضع التوازن كما بشكل (5-31). وعلى ذلك فالأثقال تأخذ وضعا خاصا على مسافة معينة من محور الدوران عند أي سرعة.



شكل (5-30): تحرك أذرع الأثقال بعيداً عن محور الدوران عند زيادة سرعة المحرك عن الحد المعتاد



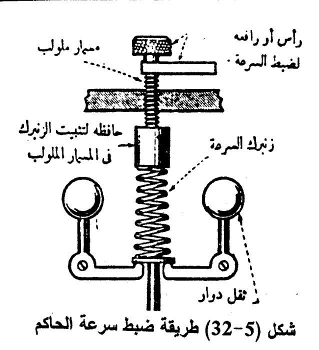
شكل (5-31): تحرك أذرع الأثقال قريباً عن محور الدوران عند انخفاض سرعة المحرك عن الحد المعتاد

الخطوة الثانية لعمل المنظم هى تشغيل جهاز ضبط مقدار الوقود للمحرك. فلو كان المحرك مزودا بمضخة حقن من النوع النابض فإن جهاز ضبط الوقود يعمل على تغيير مقدار تصرف المضخة. وإذا كان الحقن بطريقة " نظام الموزع " جهاز ضبط الوقود على تغير تدفق الوقود من الحاقن .

ويمكن للمشرف أو العامل على المحرك فى معظم المنظمات ضبط قوة الزنبرك التى تعمل على مقاومة القوة الطاردة للأثقال وذلك لتحديد سرعة المحرك.

ويوضح شكل (5-32) طريقة ضبط سرعة الحاكم حيث يلاحظ وجود حافظة فوق الطرف الأعلى للزنبرك بحيث يمكن ضبط هذا القرص برفعه أو خفضه بواسة عمود حلزونى ينتهى برافعة أو رأس مسدسة أو إسطوانة خارج المنظم. فإذا فرضنا أثناء خفضنا قوة الزنبرك بإدارة المسمار الحلزونى لرفع الحافظة إلى أعلى حتى يقل ضغط الزنبرك لكانت القوة الطاردة للأثقال المطلوبة أقل حتى تتزن فى نفس الوضع السابق. أى أنه يلزم أن تكون سرعة المحرك أقل مما كانت عليه. وبمعنى آخر فأن تخفيض قوة الزنبرك يعمل على إدارة المحرك بسرعة أقل إذ لم يتغير الحمل. وبالمثل فإن زيادة قوة الزنبرك يؤدى إلى زيادة سرعة المحرك لنفس الحمل بسبب الحاجة إلى قوة طاردة أكبر لموازنة قوة الزنبرك الجديدة.

وكثيراً من المنظمات يستعمل معها زنبرك مستقل لضبط السرعة. وعلى أى حال فأنه مهما كان وضع الزنبرك الذى يقاوم القوى الطاردة للأثقال فإنه سوف يؤثر على سرعة المحرك التى تتزن عندها قوى المنظم. وفى حالة استعمال زنبرك مستقل لضبط السرعة فأنه يوضع بأعلى المنظم ويكون عادة ضعيف المرونة حتى يمكن ضبط السرعة بصورة أدق.



شكل (5-32) طريقة ضبط سرعة الحاكم

5-4-4 بعض التعاريف الخاصة بالمنظم:

- إتزان المنظم *(Stability)*

وهو الحصول على السرعة المرغوبة من المحرك بدون تذبذبات فيها. وهى تمثل الأوضاع السليمة للمنظم والوقت اللازم لتصحيح سرعة المحرك عند تغير الأحمال.

2- التحكم *(Regulation) (R)*

$$R=\frac{N_1-N_2}{N_1+N_2}\times 100 \qquad (5-1)$$

حيث

N_1 = السرعة أثناء عدم تحميل المحرك *Speed at No-Load*

N_2 = السرعة أثناء تحميل المحرك على الحمل الكامل *Speed at Full-Load*

3- الحساسية *(S) (Sensitiveness)*

هى القدرة على الشعور بأقل تغير فى السرعة. وهى السرعة التى يبدأ عندها المنظم فى حركة مجموعة الروافع المتصلة بجهاز الوقود لكى يغير سرعته.

فإذا كان المحرك والمنظم يدوران بسرعة متعادلة *Equilibrium Speed* بدون تذبذب ولتكن Ne فإن هناك السرعة N أعلى أو أقل Ne يبدأ المنظم فى حركة مجموعة الروافع المتصلة بجهاز الوقود وتعرف:

$$S = \frac{2(N_e - N)}{N_e + N} \times 100 \qquad (5-2)$$

$$N_e = \sqrt{N_{max} + N_{min}} \qquad (5-3)$$

ويمكن حساب أقصى سرعة وأقل سرعة من المعادلات التالية:

$$N_{max} = \frac{200+S}{200-S} \times N_e \qquad (5-4)$$

$$N_{min} = \frac{200+S}{200-S} \times N_e \qquad (5-5)$$

4- قوة المنظم *(Governor Strength)*

هى القوة الناتجة من المنظم والتى يجب أن يتغلب عليها من مجموع المقاومات التى تقابل مجموعة من الروافع المتصلة بجهاز الوقود حتى تقابل الزيادة أو النقصان فى سرعة المحرك.

5-4-5 - أنواع المنظمات

تنقسم المنظمات بالنسبة للقوة المستعملة لتحريك صمام معايرة الوقود الى نوعين:

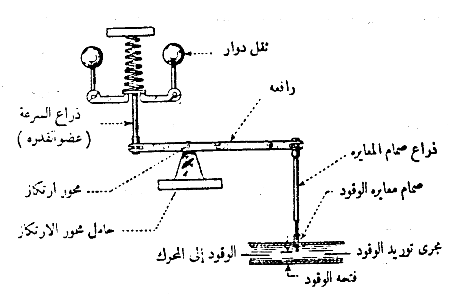
أولا- المنظم الميكانيكى*(Mechanical Governer)*

وفيه تنتقل الحركة مباشرة من ساق الضغط نفسه إلى روافع صمام معايرة الوقود. قد علمنا فيما سبق أنه عند ازدياد سرعة المنظم تزداد القوى الطاردة للأثقال من فتحة الزنبرك المضاد لها بالعكس.

والمنظمات الميكانيكية تستخدم هذه القوة مباشرة لتشغيل صمام المعايرة الذى يتحكم فى تغيير كمية الوقود شكل (5-33) يوضح رسما تخطيطيا لكيفية معايرة كمية الوقود. ويشتمل الرسم على الآتى:

ذراع السرعة: وهو عبارة عن العمود الذى ينقل القدرة مباشرة من الأثقال الدوارة.
رافعة: وتستعمل لنقل حركة ذراع السرعة إلى صمام المعايرة.
صمام (أو عضو) المعايرة: قد استعيض عن التصميم الدقيق المستعمل عادة فى المحرك بصمام خنق بسيط للإيضاح على هيئة بوابة يمكن بتحريكها داخل مجرى توريد الوقود تغيير مقداره نتيجة هذا المجرى.

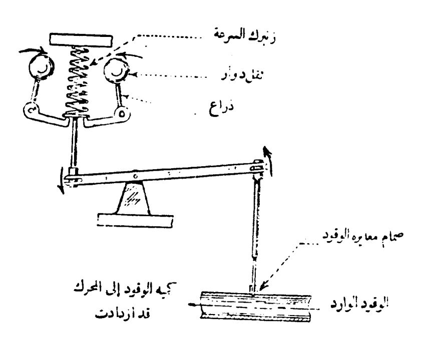
والآن سوف نرى ماذا يحدث لكل من المنظم وصمام معايرة الوقود عند زيادة الحمل أوعند انخفاضه فى منظم من النوع البسيط.



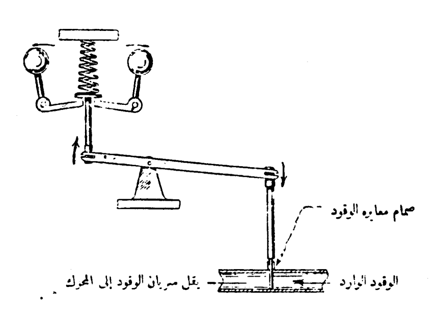
شكل (5-33): يوضح رسما تخطيطيا لكيفية معايرة كمية الوقود

فى حالة انخفاض الحمل: شكل (5-35)

عندما يقل الحمل تزيد سرعة المحرك. وزيادة سرعة المحرك تزيد من سرعة دوران أثقال المنظم وبذلك تزيد من قوتها الطاردة وتتغلب على قوة الزنبرك وترفع ذراع السرعة إلى أعلى. وعندما يتحرك ذراع السرعه الى أعلى يتحرك صمام معايرة الوقود إلى أسفل لغلق فتحة تدفق الوقود إلى المحرك فتقل بذلك كمية الوقود وبذلك تنخفض قدرة المحرك حتى تتناسب مع الحمل القليل. وتنخفض سرعة المحرك ولكن ليست الى سرعة الحمل السابق للاستحالة الميكانيكية من حيث المحافظة على الوضع الجديد لصمام المعايرة مع عودة الأثقال الى وضعها الأصلى. فأن ضرورة تقليل فتحة تدفق الوقود مع الحمل الصغير تتطلب أن تكون أذرع الأثقال ليست رأسية الوضع بسبب زيادة السرعة عما قبل.



شكل (5-34): تأثير زيادة الحمل على المنظم الميكانيكى



شكل (5-35): تأثير انخفاض الحمل على المنظم الميكانيكى

ويلاحظ من دراسة عمل المنظم الميكانيكى السابق شرحه أن السرعة النهائية للمحرك تكون أقل من السرعة الأصلية بعد زيادة الحمل، وتكون أكبر بعد انخفاض الحمل. ففى حالة المثال الخاص بزيادة الحمل كان تأثير المنظم غير كاف لإعادة رفع سرعة المحرك إلى ما كانت عليه. ونتيجة لذلك فإن المحرك يسير بسرعات مختلفة عند الأحمال المختلفة ولكنه عند أى حمل خاص يكون صمام المعايرة فى وضع ثابت وفى حالة سكون وبذلك يدور المحرك بسرعة معينة تتناسب مع الحمل.

وعدم قدرة المنظم على إعادة السرعة الأصلية بعد تغيير الحمل تسمى الانحراف الدائم للسرعة وهى إحدى الصفات الملازمة لجميع المنظمات الميكانيكية وسببها أن قوة أثقال المنظم تحرك صمام المعايرة عن طريق مباشر بواسطة روافع ميكانيكية. ولو أن هذا الانحراف الدائم لا يمنع من استخدام المنظم الميكانيكى فى أغراض كثيرة ما دام مقدار الانحراف فى السرعة على درجة معقولة.

- مزايا المنظمات الميكانيكية:

1- رخيصة الثمن.

2- تعمل بطريقة مرضية فى الحالات التى لا يلزم فيها الاحتفاظ الدقيق بنفس السرعة بصرف النظر عن مقدار الحمل.

3- بسيطة فى تركيبها حيث تتركب من أجزاء قليلة.

-عيوب المنظمات الميكانيكية:

1- حساسيتها ضعيفة اذ أن الأعضاء الخاصة بقياس السرعة يجب عليها فى ذات الوقت أن تعطى القوة اللازمة لتحريك معايرة الوقود.

2- قدرتها ضئيلة نسبياً الا إذا كان المنظم كبيراً جداً.

3- لايمكن تناسب الإنحراف الدائم فى سرعتها وبناء على ذلك لايمكن استعمالها فى الحالات التى يستلزم فيها الأمر ثبات سرعة المحرك عند حد معين.

ثانيا: المنظم الهيدروليكى *(Hydraulic Governer)*

فى المنظم الهيدروليكى لا تنتقل الحركة مباشرة من ساق الضغط الى روافع صمام المعايرة وأنما يكون ذلك عن طريق صمام يتحكم فى ضغط سائل مضغوط. وهذا السائل يؤثر بدوره على غاطس متصل بصمام معايرة الوقود.

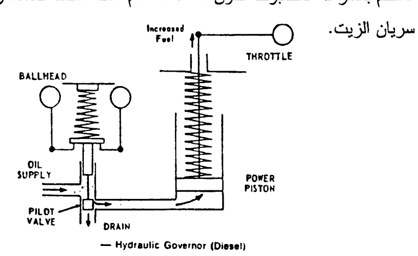
وفى هذا النوع من المنظمات لا يكون المصدر المباشر للقدرة التى تحرك صمام المعايرة هو أعضاء قياس (الأثقال والزنبركات) وإنما يكون مصدرها المباشر هو مكبس ذو قوة هيدروليكية يؤثر عليه زيت مضغوط صادر من مضخة خاصة.

وباستعمال مكبس متناسب الأبعاد وزيت مضغوط ضغطا مناسب يمكن جعل قوة المنظم كافيه لتشغيل روافع معايرة الوقود فى المحركات بأضخم أنواعها.

وفى هذا النوع تتصل أعضاء قياس السرعة بصمام اسطوانى صغير يسمى صمام التوزيع أو التحكم، وهذا الصمام ينزلق إلى أعلى أو إلى أسفل داخل جلبة تحتوى على فتحات خاصة توجد على جدار الأسطوانة وبذلك يمكن التحكم فى تدفق الزيت من المضخة وإليها. والقوة اللازمة لانزلاق صمام التوزيع تكون صغيرة جداً مما يترتب عليه قدرة أثقال المنظم على ضبط تدفق الزيت المضغوط.

– تركيب المنظم الهيدروليكى البسيط:

يوضح شكل (5- 36) رسما تخطيطيا لمنظم هيدروليكى بسيط ويلاحظ فيه أن إرتفاع قاعدة صمام التحكم مساوياً لاتساع فتحات الأسطوانة تماما. فعندما يدور المنظم بالسرعة المضبوطة تكون قاعدة الصمام غالقة الفتحة تماما، وعلى ذلك يقف سريان الزيت.



شكل (5- 36): رسماً تخطيطياً لمنظم هيدروليكى بسيط

ولو قلت سرعة المنظم نتيجة لزيادة حمل المحرك لتحركت الأثقال إلى الداخل وتحرك صمام التحكم إلى أسفل كاشفا بذلك فتحة تنظيم الزيت التى تصل إسطوانة مكبس القدرة الهيدروليكية بمصدر الزيت المضغوط (مضخة الزيت) الذى يبدأ فى السريان إلى مكبس القدرة ويجبره على التحرك إلى أعلى للعمل على زيادة تدفق الوقود إلى أسطوانة المحرك.

وفى حالة زيادة سرعة المنظم نتيجة لإنخفاض حمل المحرك تتحرك أثقال المنظم إلى الخارج وينزلق صمام التحكم إلى أعلى عاملاً على فتح فتحة التنظيم للسماح للزيت بالإنصراف من أسفل مكبس القدرة إلى غرفة خاصة فينزلق المكبس الهيدروليكى إلى أسفل بتأثير دفع الزنبرك، وعلى ذلك يقل تدفق الوقود الوارد الى المحرك.

ويلاحظ هنا أن فتحة التنظيم تستمر مغلقة عند وضع واحد لصمام التحكم، أى عند سرعة واحدة معينة فقط ، وبناء على ذلك فإن صمام المعايرة يتغير وضعه بحيث يأخذ أوضاعا مختلفة تبعا لدرجة حمل المحرك وعند هذه السرعة الثابتة. وعلى ذلك فالمحرك يجب أن يسير بسرعة ثابتة عند أى حمل ويطلق على المنظم أنه من النوع ذى السرعة الواحدة عند أى من درجات تحميل المحرك.

بالرغم من أن المنظمات الهيدروليكية معقدة التركيب وتحتوى على أجزاء كثيرة، كما أنها غالية الثمن عن المنظمات الميكانيكية فأنها تستعمل لمزاياها الآتية:

1- أكثر حساسية.

2- ذات قدرة كبيرة لتحريك أجهزة معايرة الوقود.

3- يمكن صناعتها بحيث تحافظ على سرعة ثابتة للمحرك عند جميع الأحمال.

وعيوب المنظم الهيدروليكى البسيط السابق شرحه عيوب خطيرة تؤدى إلى عدم استعماله عملياً وذلك لشدة حساسيته وعدم ثباته فهو دائم الحركة. والسبب فى عدم الثبات هو طول الفترة بين لحظة تأثير المنظم ولحظة استجابة المحرك لهذا التغيير.

فالمحرك لا يمكن أن يعود فى الحال إلى السرعة التى يعمل المنظم على ثباتها. وبناء على ذلك فلو قلت سرعة المحرك عن السرعة التى يعمل النظم على ضبطها فإن صمام التحكم يعمل على تحريك مكبس القدرة الهيدروليكية للعمل على زيادة الوقود وبمضى الوقت تزيد السرعة إلى الحد الذى ضبط عليه وضع المنظم وبذلك يعود صمام التحكم إلى الوضع المناسب (الوضع المتوسط)، وتتوقف حركة المكبس الهيدروليكى بعدما تكون كمية الوقود قد زادت كثيراً وسرعة المحرك قد أخذت فى الازدياد.

هذه السرعة الزائدة تعمل على فتح صمام التوزيع فى الإتجاه الآخر لتقليل الوقود. ولكنه بمضى الوقت تهبط سرعة المحرك إلى الحد الصحيح بعد ما تكون كمية الوقود قد قلت كثيرا وسرعة المحرك تكون قد أخذت فى النقصان. وتتكرر هذه العملية باستمرار. وبناء على ذلك يجب أن يزود المنظم بوسائل تعمل على ثباته حتى يؤدى وظيفته بكفاية تامة وذلك بإضافة وسيلة إعاقة للسرعة كما هو موضح فيما بعد.

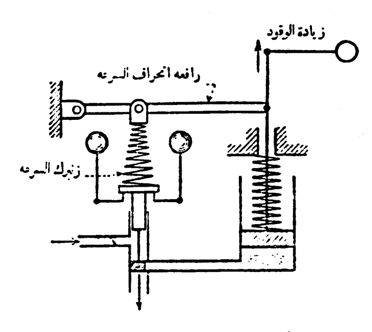
المنظم الهيدروليكى ذو الإنحراف الدائم فى السرعة:

لثبات المنظم وعدم جعله شديد الحساسية، تصنع معظم المنظمات الهيدروليكية بحيث تحتوى على إنحراف فى السرعة بقصد تثبيت وضع أعضاء المعايرة عند كل سرعة معينه كما فى شكل (5-37) حيث أن هناك رافعة تصل مكبس القدرة الهيدروليكية بالزنبرك الرئيسى للمنظم وعلى ذلك فعندما يزيد الوقود يقل ضغط

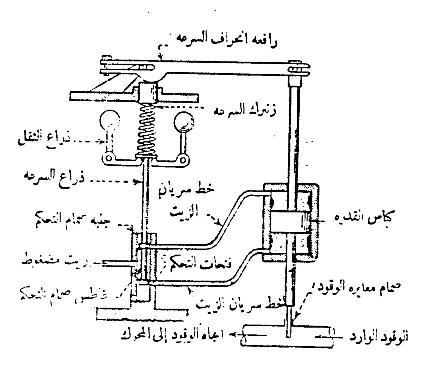
زنبرك السرعة بتأثير حركة الرافعة إلى أعلى ويساعد ذلك على عودة الأثقال إلى الوضع الرأسى بسرعة.

وقد سبق أن أوضحنا أن تخفيف قوة الزنبرك يعمل على تخفيض سرعة المحرك كما أن زيادة قوة الزنبرك تعمل على زيادة سرعة المحرك ولزيادة إيضاح عمل رافعه انحراف السرعة يبين شكل (5-38) تفاصيل منظم ذى انحراف دائم، وفيه صمام التحكم على هيئة مكبس ومتصل بنهاية ذراع السرعة وينزلق داخل جلبة مثقوب بها فتحات تتحكم فى سريان الزيت.

تتصل هذه الفتحات بكلا طرفى أسطوانة مكبس القدرة الهيدروليكية. ويلاحظ أن فتحات تدفق الزيت تكون مغلقة عندما تكون أذرع الأثقال فى وضع رأسى، فالمحرك يكون دائرى عند السرعة والعمل المطلوب.



شكل (5-37): نظرية عمل المنظم الهيدروليكى ذو الانحراف الدائم فى السرعة



شكل (5-38): رسم تخطيطى للمنظم الهيدروليكى ذى رافعة انحراف السرعة

– فى حالة زيادة الحمل، شكل (5-39)

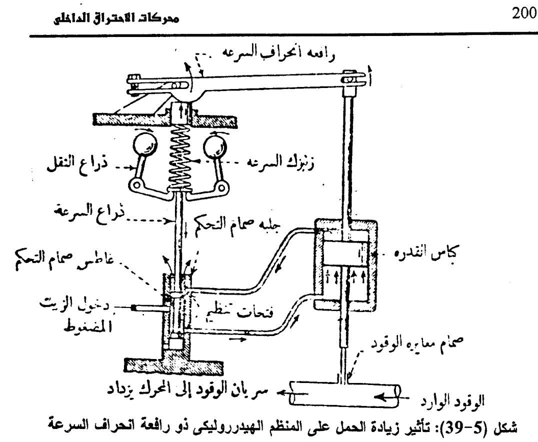
عند زيادة الحمل على المحرك تقل سرعته. بينما تقل سرعة المحرك تتحرك أذرع الأثقال نحو الداخل، وينزلق تبعا لذلك صمام التحكم إلى أسفل. وتعمل حركة صمام التحكم إلى أسفل على كشف الفتحات ويتدفق الزيت المضغوط من خلال الفتحة السفلى إلى الجانب السفلى للمكبس الهيدروليكى عاملا على رفعه إلى أعلى فيزداد الوقود الوارد للمحرك. أما الزيت بأعلى المكبس فينصرف الى الخزان عن طريق الفتحة العلوية. عند تحرك مكبس القدرة إلى أعلى يدفع رافعة إنحراف السرعة إلى أعلى وتقل بذلك قوة الزنبرك. وتقليل قوة الزنبرك يسمح لأذرع الأثقال بالحركة الى الخارج وبذلك يرتفع صمام التحكم ويأخذ فى غلق الفتحات ويترتب على ذلك أن تقل حركة مكبس القدرة فى الأتجاه إلى أعلى. عندما يصل وضع ذراعى الثقلين إلى الوضع الرأسى يكون صمام التحكم قد أغلق الفتحات فتقف حركة

مكبس القدرة فى الاتجاه العلوى تماما. حيث أن قوة الزنبرك تقل أثناء زيادة الوقود أو زيادة الحمل فيترتب على ذلك أن يصل الى موضع التوازن بتأثير قوى أقل للأثقال أى سرعة أقل للمحرك. مقدار انخفاض سرعة المحرك عن سرعته الثابتة نتيجة لزيادة الحمل تسمى بانحراف السرعة.

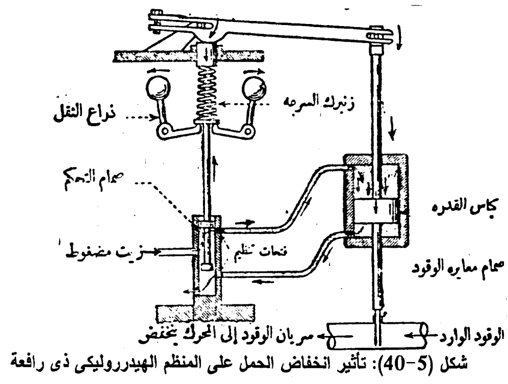
ويلاحظ مما سبق أن رافعة انحراف السرعة تعمل على الحد من زيادة تدفق الوقود إلى المحرك وإيقاف تأرجح المنظم وذلك بالعمل على إيقاف حركة مكبس القدرة قبل أن يكون المحرك قد استرد سرعته التى كان يدور عندها قبل زيادة الحمل.

– فى حالة انخفاض الحمل، شكل (5– 40)

عندما يقل الحمل على المحرك تزيد سرعته وعندما تزيد سرعة المحرك يتحرك ذراعا الثقلين إلى الخارج ويرتفع تبعا لذلك صمام التحكم إلى أعلى. وأرتفاع صمام التحكم إلى أعلى يؤدى إلى كشف الفتحات ويتدفق الزيت المضغوط من خلال الفتحة العليا إلى الجهة العليا لمكبس القدرة الهيدروليكية دافعا إياه إلى أسفل للعمل على خفض كمية الوقود، أما الزيت الذى بالجهة السفلى للمكبس فينصرف إلى خزان الزيت من خلال الفتحة السفلى. وعندما يتحرك مكبس القدرة إلى أسفل يجذب رافعة إنحراف السرعة إلى أسفل فتزيد بذلك قوة الزنبرك. وزيادة الزنبرك تعمل على رفع ذراعى الثقلين إلى الداخل ويتحرك بذلك صمام التحكم إلى أسفل ويأخذ فى غلق الفتحات مما يؤدى إلى تخفيض حركة مكبس القدرة الهيدروليكى فى الاتجاه الأسفل. وعندما يصل وضع ذراع الثقلين إلى الوضع الرأسى يكون صمام التوزيع قد أغلق فتحتى الزيت وبذلك يقف مكبس القدرة عن الحركة. وحيث أن قوة الزنبرك تزداد أثناء انخفاض الحمل أو نقص كمية الوقود مما يتطلب قوة أكبر للأثقال ولا يتأتى هذا إلا بزيادة سرعة المحرك حتى تتوازن مع قوة الزنبرك. مقدار زيادة سرعة المحرك عن سرعته القانونية نتيجة لإنخفاض الحمل تسمى بانحراف السرعة.



شكل (5-39): تأثير زيادة الحمل على المنظم الهيدروليكى ذو رافعة انحراف السرعة



شكل (5-40): تأثير انخفاض الحمل على المنظم الهيدروليكى ذى رافعة انحراف السرعة

ويلاحظ مما سبق أن رافعة انحراف السرعة تعمل على إيقاف حركة مكبس القدرة الهيدروليكية قبل ما يكون المحرك قد استعاد سرعته السابقة أو بمعنى آخر تعمل على الحد من ازدياد النقص فى تدفق الوقود الى المحرك وهذا يؤدى بدوره إلى إيقاف تأرجح المنظم.

مزايا المنظمات الهيدروليكية ذات الانحراف الدائم فى السرعة:

1- منخفضة الثمن نسبيا.

2- دقيقة وحساسة فى العمل مما يساعدها على جودة تنظيم سرعة المحرك.

3- بسيطة فى تركيبها لقلة أجزائها.

4- أكثر قدرة من المنظمات الميكانيكية التى تتساوى معها فى الابعاد.

عيوب المنظمات الهيدروليكية ذات الإنحراف الدائم فى السرعة

1- لا تؤدى الى ثبات سرعة المحرك تماما فى جميع درجات الحمل.

2- أجهزة إنحراف السرعة غير سهلة الضبط نظرا لوجودها داخل المنظم.

5-4-7- المنظم الهيدروليكى ذو السرعة الثابتة:

لما كان المنظم ذو الانحراف الدائم فى السرعة لا يمكنه تثبيت سرعة المحرك عند سرعة واحدة إذا اختلف درجة تحميله نظرا لاحتوائه على انحراف دائم فى السرعة بقصد منع التأرجح، يوجد نوع آخر من المنظمات الهيدروليكية تعمل على تثبيت سرعة المحرك عند سرعة واحدة عند جميع الأحمال المختلفة كما يمنع التأرجح فى نفس الوقت وهو ذو إنحراف مؤقت فى السرعة يعمل على أتزان عمل المنظم أثناء تصحيح كمية الوقود بحيث يزول هذا الانحراف تدريجيا أثناء استجابة المحرك لهذا التصحيح واسترجاعه لسرعته الأصلية، وبهذا تتم هذه المنظمات عمليا طبقا للخطوتين الأساسيتين:

1- السماح بانحراف مؤقت فى السرعة عند معايرة الوقود.

2- التخلص من هذا الانحراف أثناء استجابة المحرك للتغير في معدل الوقود واسترجاعه لسرعته الأصلية.

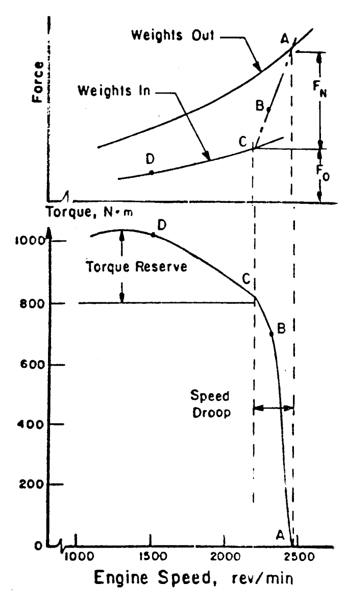
تأثير الحاكم على منحنى سرعة وعزم المحرك

يوضح شكل (5-41) منحنيات كحالات التحديد عندما تكون الأثقال فى الداخل (نصف قطر المسار أصغر ما يمكن)، وأيضاً عندما تكون الأثقال فى الخارج نصف قطر المسار أكبر ما يمكن. ويستطيع المنظم (الحاكم) العمل بين هذين المنحنيين فقط.

فإذا كان المحرك بدون حاكم وكان يعمل بدون حمل فسرعان ما تصبح السرعة زائدة أكثر من اللازم. وأما إذا كان المحرك متحكم فيه (يحتوى على حاكم) سوف تميل الأثقال المتحركة إلى الخارج حتى نهايتها مما يقلل من توصيل الوقود الى مستوى يكفى فقط لمقاومة احتكاك المحرك. ويعمل المحرك عند النقطة A فى شكل (5-41أ) ، (5-41ب)، وتسمى نقطة A نقطة اللاحمل العالية، لأن السرعة تكون عالية والمحرك غير محمل وبزيادة تطبيق حمل العزم على المحرك تتحرك أثقال الحركة للداخل، فيزيد مشوار مضخة حقن الوقود لتزويد المحرك بالوقود اللازم لإعطاء ذلك العزم، وعند النقطة (C) تكون الأثقال المتحركة فى أقصى وضع للداخل ولا تستطيع تحريك أذرعة الحاكم، أو زيادة مشوار مضخة الحقن أكثر من ذلك. لذلك

تسمى النقطة C الحد الأقصى للحاكم. وبزيادة العزم تبدأ السرعة بالإنخفاض سريعاً بسبب عدم قدرة الحاكم على زيادة توصيل الوقود بكل دوره عند النقاط الواقعة على يسار النقطة (C) يتم التحكم بالسرعة فقط بواسطة حمل العزم الواقع على المحرك. ولهذا يكون المحرك واقعاً تحت تأثير التحكم بالحاكم فى النقاط

الواقعة بين (A) ، (C) ويكون واقعاً تحـت تـأثير التحكم بـالحمل فـى النقـاط الواقعـة يسار النقطة c . الزيادة فـى العزم تكون متاحـة فـى مـدى التحكـم بواسـطة الحمـل بسبب انحسار عزم الاحتكاك مع السرعة، وبسبب أن مضخات الحقن تكتسب كفـاءة ضخ إلى حد ما كلما نقصت السرعة.

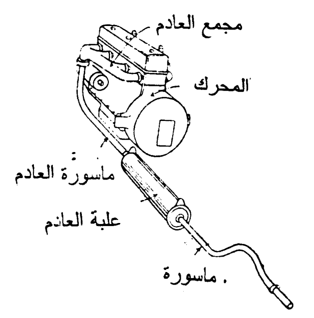


شكل (5-41): تأثير تشغيل الحاكم على العلاقة بين سرعة وعزم المحرك

الباب السادس

جهازى السحب والعادم فى المحركات

Engine Intake and Exhaust System



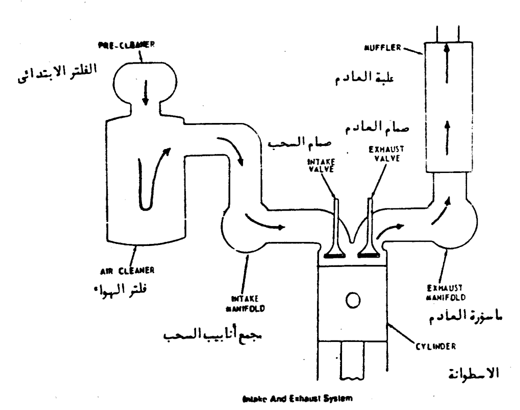
الباب السادس

جهازى السحب والعادم فى المحركات

Engine Intake and Exhaust System

6-1- مقدمة

جهازى السحب والعادم هما جهازى التنفس للمحرك. فالسحب يدخل مخلوط الهواء والوقود إذا كان المحرك من النوع البنزين أو هواء فقـط اذا كـان ديـزل. أمـا جهاز العادم فأنه يقوم بطرد الغازات الناتجة من عملية الاشتعال خـارج الإسـطوانة. ويوضح شكل (6-1) نموذج لجهازى السحب والعادم.



شكل (6-1): يوضح جهازى السحب والعادم

6-2 جهاز السحب *Intake System*

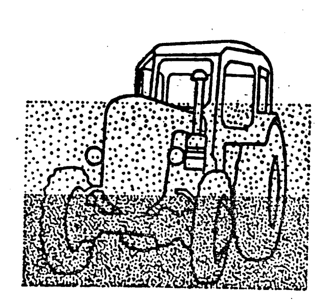
جهاز السحب يمد المحرك بهواء نقى وبالكمية المطلوبة لعملية الأشتعال. ويتكون أساسا من الأجزاء الآتية:

1- منقى الهواء *Air Cleaner*
2- أنابيب السحب *Intake Mainfoid*
3- صمامات السحب *Intake Valves*

6-2-1 منقى الهواء *Air Cleaner*

يلزم للمحرك كمية من الهواء اللازم لحرق الوقود. ونظرا للضرر الذى تتعرض له الأسطح الداخلية للمحّرك بسبب وجود المواد الغريبة وجب تنقية الهواء الداخل إلى المحرك من معظم الأتربة التى يحملها خصوصاً فى الجرارات حيث تستخدم أساسا فى الزراعة، كما تستخدم فى أعمال التشييد والبناء ونقل الأتربة. وتكون كمية الأتربة فى الهواء ملحوظة عند استخدام الجرارات فى المناطق الحارة والجافة.

ومن الجدير بالذكر هنا أن نسبة الأتربة فى الهواء تكون كبيرة بالقرب من الأرض وتقل كلما زاد البعد عنها كما هو موضح فى شكل (6-2)، لذلك تركب ماسورة سحب الهواء فى أعلى موضع ممكن. وعموما يمكن أن نأخذ فى الاعتبار أن نسبة الأتربة فى الهواء أقل من 1جم/متر^3 فى الظروف العادية وتبلغ 1جم/متر3 عند استخدام جرار بعجل أما عند استخدام الجرارات المجنزرة تؤخذ نسبة الأتربة حوالى 1.5 جم/متر^3. وفى أقصى الظروف تصل هذه النسبة الى 2.5-5 جم/متر^3. حين تتكون هذه الأتربة أساسا من أدق جسيمات الكوارتز والسيليكا وأنعمها، وتكون شديدة الحك عند اختلاطهما بالزيت. ومن ثم يتلف المحرك بعد وقت قصير من تشغيله إذا لم يشتمل على فلتر للهواء لذلك يتحتم تركيب مرشحات هواء شديدة الفعالية فى مدخل الهواء المسحوب بغرض التقليل - إلى أدنى حد ممكن - من التآكل فى جدران الإسطوانات والمكابس والشنابر والمجموعة المرفقية.



شكل (6-2): تركيز الأتربة حول الجرار

- أنواع منقيات الهواء *(Types of Air Cleaners)*

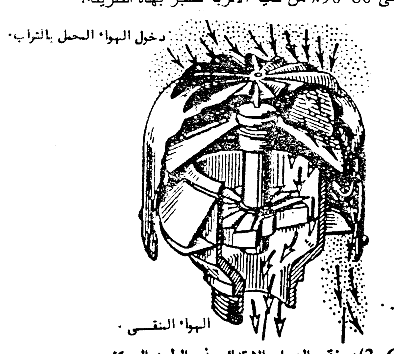
تكون معظم منقيات الهواء المستخدمة عادة فى الجرارات الزراعية من الأنواع الآتية:

أ- مرشحات الهواء الابتدائية *Pre - Cleaners*

تستخدم هذه المرشحات لتنقية الهواء من الشوائب الكثيرة قبل دخولها إلى مرشح الهواء الرئيسى مما يقلل كثيرا من العمل الواقع عليه بالإضافة إلى إطالة الفترة بين عمليات الصيانة التى تجرى على المرشح الرئيسى. ومعظم مرشحات الهواء الابتدائية يكون ملحقا بها مصفاه سلكية لمنع دخول القش والأوراق إلى ماسورة سحب الهواء.

ويوضح شكل (6-3) أى أنواع مرشحات الهواء الابتدائية ويعرف هذا النوع من المرشحات باسم المنقى ذى الطرد المركزى أو السيكلون وفيه يدخل الهواء خلال عجلة مروحية ذات رياش. ونظرا لترتيب الرياش بالعجلة فى وضع مائل، فإن جسيمات الأتربة المارة بها تنطرد إلى الخارج، أو يدخل الهواء من خلال فتحة فى اتجاه حلزونى إلى غرفة الطرد المركزى. وبهذه الكيفية يكتسب الهواء حركة دوامية فتنفصل عنه جسيمات الأتربة متجهة إلى مجمع الأتربة عن طريق فتحة التصريف.

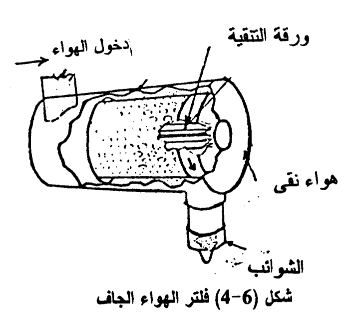
وهناك تصميمات مجمع الأتربة بحيث يفتح تلقائيا عند توقف المحرك للتخلص من الكمية المحجوزة على أساس حدوث انخفاض فى الضغط داخل الفلتر أثناء تشغيل المحرك ولكن أثناء توقف المحرك فبواسطة وزن الأتربة تقع بوابة سفلى للتخلص من الأتربة. وتعاد البوابة إلى مكانها عند التشغيل مرة أخرى. ويمكن القول أن حوالى 80-90٪ من كمية الأتربة تحجز بهذه الطريقة.



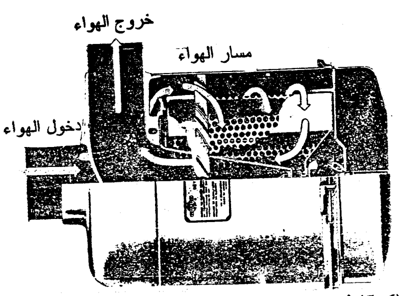
شكل (6-3): منقى الهواء الابتدائى ذو الطرد المركزى

ب- مرشحات الهواء الجافة ***Dry Air Cleaners***

يسرى الهواء المسحوب فى المرشح الجاف خلال مادة ترشيح مناسبة، مثل نسيج دقيق ناعم أو لباد، تعمل على اصطياد جسيمات الأتربة التى تقع أقطارهـا فـى حدود 0.005 مم وعندما تتراكم كمية كبيرة من الأتربة داخل المرشح يجب تنظيفـه حتى لا تعوق تدفق الهواء داخله، ويتم ذلك عن طريق امتصاصها بمنظف خـاص. ويوضـح شـكل (6-4) فلتر الهـواء الجـاف، إذ أن عنصـر الترشـيح الورقـى مبلـل كيماويـا للقـوة ومقاومـة الرطوبـة وبشـكل يعطـى أكبر مسـاحة للترشـيح والمصفـاة المعدنية تستخدم للمحافظة على العنصر الورقى من الضرر عند خدمة فلتر الهـواء. ويوضح شكل (6-5) وفلتر الهواء الجاف المستخدم تحت ظروف قاسية والمصمم لاستعماله فى الجرارات وآلات الحصاد، هذا الفلتر يستخدم قاعدة التغير السريع فـى اتجاه مجرى الهواء لإزالة الغبار.



شكل (6-4) فلتر الهواء الجاف

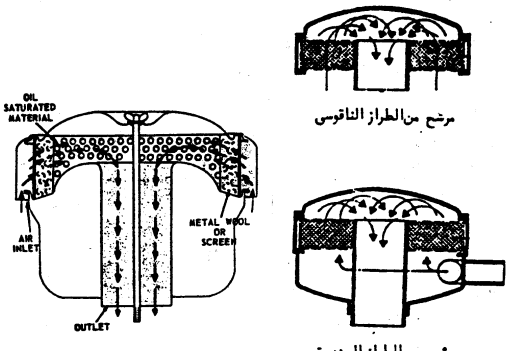


شكل (6-5) فلتر الهواء الجاف المستخدم تحت الظروف القاسية

جـ- مرشحات اللزوجة

Viscous- Impingememt Cleaner

فى هذا النوع من المرشحات (شكل 6-6) يتدفق الهواء فى ممر خلال كمية من الأسلاك أو الشبك المغطى بزيت كثيف مما يعمل على تلاصق الأتربة مع الزيت عند مرور الهواء. ويكون التصميم لهذا المرشح بحيث يمكن الهواء من تغيير اتجاه سريانه فيها عدة مرات، وبسرعة. ونتيجة لثقل وزن جسيمات الأتربة بالنسبة للهواء، فأنه لا يمكنها مسايرة حركته داخل الفلتر ومن ثم فأنها تنفصل عنه فى عنصر الترشيح المبلل بالزيت، حيث تستقر فيه.



مرشح من الطراز الناقوسى

مرشح من الطراز الصندوقى وبه خافض للصوت.

شكل (6-6) مرشحات لتنقية الهواء مرشحات اللزوجة.

د- مرشحات الهواء ذات حمام الزيت

Oil Bath Air Cleaners

يوضح شكل (6-7) الأجزاء الرئيسية لهذا النوع من المرشحات، والمرشح عبارة عن وعاء يحتوى على زيت عند ارتفاع معين ويثبت فوقه أسطوانة تحتوى على شبكة من السلك الرفيع وبداخلها أنبوبة رأسية لمرور الهواء الداخل الى المرشح، فعند تدفق الهواء خلال الأنبوبة الرأسية يمر أولا على وعاء الزيت حيث تحتجز جزيئات الأتربة العالقة به. ثم يمر بعد ذلك من خلال الشبكة السلكية والتى تحتوى على رذاذ من الزيت ليتم تنقيته من أى شوائب قد تكون عالقة ليصل نظيفا إلى إسطوانات المحرك عن طريق صمامات السحب.

ولزيادة كفاءة عمل المرشح يجب أن تكون الأنبوبة الرأسية منغمسة في زيت الوعاء بمقدار 1سم. ولذلك يجب أن يصل مستوى الزيت إلى العلاقة المحددة على الوعاء. فانخفاض مستوى الزيت عن تلك العلامة يؤدى إلى انخفاض درجة تنقية الهواء. أما إذا ارتفع مستوى الزيت عن العلامة فإن الهواء يجد مقاومة عند المرور مما يؤدى الى خنق المحرك وبالتالى إلى احتراق غير كامل للوقود وأحيانا قد يصل الهواء كمية من الزيت معه إلى الإسطوانات مما يؤدى إلى حرقه وترسيب الكربون داخل الأسطوانات. ويجب أستبدال الزيت الذى بالحوض كلما تراكمت فيه الأتربة.

6-2-2- أنابيب ومجمع أنابيب السحب *Intake Manifold*

يتكون مجمع مجارى السحب أساسا من أنبوبة أوعدة أنابيب لحمل الشحنة " مخلوط الهواء والوقود من المغذى فى محركات البنزين أو هواء فقط فى محركات الديزل " إلى صمامات الدخول. ويركب مجمع السحب على جانب جسم الإسطوانة فى المحركات ذات الرأس*L* وعلى جانب رأس الإسطوانة فى المحركات ذات الرأس *I* ويركب مجمع السحب بين صفى الإسطوانات فى المحركات على شكل حرف *V* .

شكل (6-7): مرشحات الهواء ذات حمام الزيت

6-3- جهاز العادم *Exhaust System*

بعد احتراق خليط الهواء والوقود فى إسطوانة المحرك يفتح صمام العادم ويدفع المكبس المتحرك لأعلى الغازات المتخلفة فى الإسطوانة وذلك أثناء شوط العادم. وتمر الغازات داخل مجمع العادم ثم ماسورة العادم ثم كاتم صوت العادم.

ويقوم جهاز العادم بالوظائف الآتية:

1- نقل غازات العادم إلى خارج المحرك.

2- تخفيض سرعة الغازات.

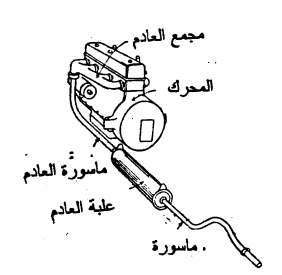
3- تخفيض الضوضاء الناتجة من دفعات الضغط الشديدة التى تحدث عند تصريف العادم.

4- إطفاء أى جزء كربونى متوهج فى علبة العادم قبل خروجها إلى الجو الخارجى منعا لحدوث الحرائق.

ويصنع جهاز العادم من الصلب وأحيانا من الزهر خصوصا إذا كان الوقود يحتوى على نسبة من الكبريت الذى يسبب وجوده فى غازات العادم تآكل الصلب.

أ- مجمع مجارى العادم *Exhaust Manifold*

يتكون مجمع مجارى العادم (شكل 6-8) أساسا من أنابيب معدنية لحمل غازات العادم من إسطوانات المحرك إلى بقية مجموعة العادم. ويركب مجمع مجارى العادم إلى جانب جسم الأسطوانات فىالمحركات ذات الرأس ***L*** أما فى المحركات ذات الرأس ***I*** فإنه يركب على جانب رأس الإسطوانة. أما فى المحرك ***V*** فيوجد مجمع لكل صنف من الإسطوانات، ويتصل المجمعان بواسطة ماسورة مستعرضة ثم تخرج الغازات من خلال علبة كاتمة الصوت، وأنبوبة العادم الخلفية.



شكل (6-8): مجمع العادم

ب- العلبة الكاتمة للصوت *Muffler*

تحتوى العلبة الكاتمة للصوت على مجموعة من الثقوب والمجارى وحجرات التحكم فى الذبذبة وذلك لإمتصاص وتخفيض الموجات ذات الضغط العالى التى تحدث بداخل مجموعة غازات العادم عند فتح صمامات العادم وبذلك ينخفض صوت خروج غازات العادم. ويجب ألا يقل حجم علبة كاتم الصوت عن 7 مرات من حجم إسطوانات المحرك. ولخفض شدة الضوضاء يجب ملاحظة الآتى:

1- أن يكون فوق الضغط بين مخرج الغازات من أنبوبة العادم والضغط الجوى أقل ما يمكن.

2- خفض طاقة غازات العادم قبل خروجها إلى الجو وذلك عن طريق الاحتكاك على سطوح معدنية أو عن طريق تغيير مجرى الغازات عدة مرات.

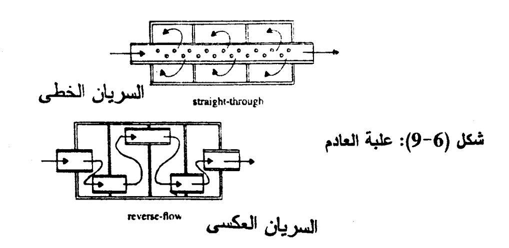
3- يؤدى تبريد أنبوبة العادم إلى خفض كبير فى شدة الضوضاء ويصغر حجم كاتم الصوت.

4- شدة الصوت تكون كبيره فى المحركات سريعة الحركة والمحركات ثنائية الأشواط، لذا فإن تصميم كاتم الصوت بهذه المحركات يحتاج إلى عناية أكبر.

وعلبة العادم تتكون من أنبوبة طولية تمر داخل علبة أكبر منها فى القطر بحوالى 3 مرات. وقد يوضع فى بعض الأحيان صوف زجاجى حول

الأنبوبة الداخلية كمادة لإخماد الصوت ولها خاصية التحمل لدرجات الحرارة. ويوجد عموما نوعين من علبة العادم كما هو موضح بشكل (6-9)، والنوع الأول يسمح لغازات العادم بالسريان بطول الأنبوبة الداخلية. وهو ما يعرف بطريقة السريان الخطى. والنوع الثانى يسمح للغازات بالسريان للأمام ثم للخلف قليلا إلى أن يصل إلى نهاية العلبة ومنها إلى الخارج وهو ما يسمى بالسريان العكسى، وكلا النوعين يعمل على تمدد الغازات وذلك للإقلال من ضوضاء الغازات الخارجة. وعند تصميم جهاز العادم يجب أن يستوعب كمية الغازات الخارجة بدون إعاقة لها حتى لا ينتج عن ذلك الإقلال من القدرة الناتجة من المحرك.

توجد ماسورة العادم فى أسفل السيارة وإلى الخلف أما فى الجرارات فيجب تغيير وضع ماسورة العادم حسب العملية التى يقوم بها، فإذا كان الجرار يقوم بالعمل فى أراضى البساتين فيجب توجيه ماسورة العادم إلى أسفل الجرار. أما إذا كان يعمل فى محاصيل حقلية قابلة للاشتعال بفعل غازات العادم فيجب توجيهها على الجرار.

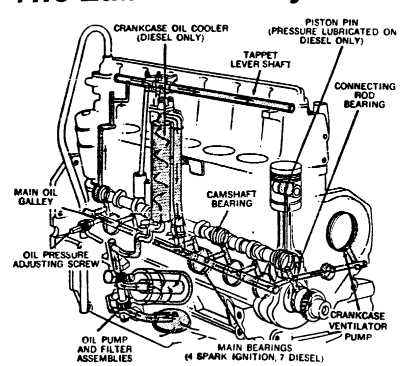


شكل (6-9): علبة العادم

الباب السابع

جهاز التزييت

The Lubrication System



الباب السابع
جهاز التزييت
The Lubrication System

7-1- مقدمة:

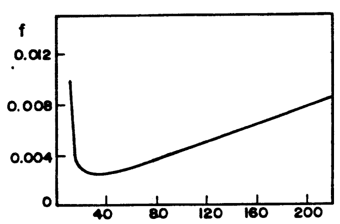
من الضرورى تزييت الأسطح المعدنية المتلاصقة فى جميع الآلات المتحركة إذا كان بينهما حركة نسبية للأسباب الآتية:

1- مقاومة الاحتكاك بين السطحين المتلاصقين.

2- لمنع أى خدش أو قطع أو تسلخ على السطح المعدنى المحتك ليقل تآكل السطح المتحرك.

3- لمنع تولد الحرارة الناتجة من الاحتكاك وما يتبعها من تمدد الأجزاء المعدنية "أو انصهارها" وإيقاف حركة المحرك نتيجة لتماسك الأجزاء بسبب اختلاف تمددها.

ويتوقف معامل الاحتكاك على نوع الزيت بين السطحين وسرعة تحرك سطح على الآخر. وقد أوضح ستريبك ***Striebeck*** شكل العلاقه بين معامل الاحتكاك ***F*** مع متوسط سرعة تحرك سطح على آخر عندما توضع طبقه رفيعة من زيت التزييت ***Luboil Film*** كما فى شكل (7-1) ويعرف هذا المنحنى بمنحنى ستريبك ***Striebeck*** وفى هذا المنحنى يبلغ معامل الاحتكاك أقصى قيمة لها حينما يكون السطح ضاغطا على سطح آخر دون وجود طبقة زيت التزييت وهو ما يعبر عنه بالاحتكاك الجاف، بعد ذلك إذا أدخلنا طبقة رفيعة من زيت التزييت بين السطحين وسحبنا أحدهما بسرعة ما فإن معامل الاحتكاك تقل حتى تصل لنهايتها الصغرى عند سرعة معينة، بعد ذلك لو زادت السرعة، فإن طبقة الزيت تهرب ويتحول الاحتكاك فى النهاية إلى الاحتكاك الجاف.



شكل (7-1): منحنى ستريبك *Striebeck*

(العلاقة بين معامل الاحتكاك *F* مع متوسط سرعة تحرك سطح على آخر)

كما أن زيت التزييت يجب أن يؤدى وظائف أخرى علاوة على تقليل مقاومة الاحتكاك والتآكل وإزالة الحرارة وذلك بالعمل على إحكام الخلوص بين المكبس وجدران الإسطوانة لمنع تسرب الغازات، كما يعمل على تنظيف الأجزاء المعدنية الملاصق لها ويعلق به جزيئات المعادن المتآكلة والأتربة والكربون.

ويفضل الزيت كأداة لتزييت أجزاء المحركات بسبب خاصية تلاصقه مع السطوح المعدنية تلاصقا شديدا وخاصية لزوجته التى تعمل على تماسكه مع بعضه تحت حمل أو ضغط دون هروبه من بين الأسطح كما هو الحال فى السوائل الأخرى. ويتكون غشاء الزيت الذى بين سطحين من عدة طبقات. فالطبقات المجاورة لسطح المعدن تتلاصق معه بخاصية التلاصق، أما الزيت الذى بين هذه الطبقات فيتماسك مع بعضه بخاصية اللزوجة. فعندما تكون الأجزاء فى حركة يميل

غشاء الزيت إلى الانفصال مكونا عدة طبقات حيث تنزلق أو تتدحرج الطبقات المتوسطة منها فوق بعضها.

من أهم العوامل التى تؤثر تأثيراً كبيراً على عمر المحرك واستمرار عمله بانتظام لمدة طويلة هو كفاءة عملية التزييت والتى فيها يتم تزييت الكراسى الرئيسية لعمود الكرنك والنهايات الكبرى والصغرى لأعمدة التوصيل والصمامات وعمود التاكيهات والكامات ومعظم الأجزاء المتحركة فى المحرك وأى أخطاء أوعيب فى دورة التزييت سوف ينجم عند تدمير خطير بالمحرك خلال فترة قصيرة.

فوائد عملية التزييت تنحصر فى الآتى:

1- تقليل الاحتكاك أو تقليل تآكل الأجزاء المتحركة وبالتالى الطاقة الحرارية الناتجة عن عملية الاحتكاك.

2- تعمل طبقة الزيت على إحكام الضغط داخل الإسطوانة فتمنع تسرب الغازات حول المكبس.

3- يعتبر الزيت وسط لإنتقال الحرارة فيساعد فى عملية تبريد المحرك.

4- يعمل على سهولة حركة الأجزاء المتحركة ونظافتها عن طريق سحب الشوائب المترسبة والناتجة من عملية الاشتعال.

7-2- زيت المحرك

قبل التقدم التكنولوجى فى استخدام المحركات ذات السرعات العالية كان المحرك يتم تزيته بزيت واحد (ذو درجة لزوجه واحدة) ثم تقدمت إلى استخدام ثلاثة أنواع من الزيت وهو خفيف، متوسط، ثقيل. ولكن اليوم باستخدام محركات ذات سرعات عالية وبالتالى هناك زيادة فى درجة الحرارة والضغط والسرعة فلابد من استخدام زيت معين لكل نوع من أنواع المحركات المستخدمة وأيضاً يعتمد على موسم التشغيل. ويجب أن تتوفر الشروط الآتية فى الزيت المستخدم:

1- له المقدرة على الأحتفاظ على فيلم رقيق بين الأجزاء المتحركة.
2- مقاوم للحرارة المرتفعة حتى لاتتغير خواصه بسرعة.
3- لايعمل على تآكل أو صدأ أجزاء المحرك.
4- ألا يلتصق بالأجزاء المتحركة مما يعوق حركتها.
5- ألا يعمل على تكوين مواد صمغية ورغوية.
6- له من السيولة بحيث تمكنه من السريان عند درجات الحرارة المنخفضة.
7- له المقدره على تغيير خواصه تحت ظروف التشغيل العادية.

والزيوت المستخدمة تختلف فى درجة لزوجتها على حسب موسم التشغيل وعلى حسب نوع المحرك ودائماً الزيوت تحتوى على المواد المختلفة الآتية:-

1- مادة مانعة لتآكل المواد المعدنية Anti - Corrosion Additives
2- مادة مانعة للأكسدة عند درجات الحرارة العالية Anti- Oxidation Additives
3- مادة مانعة للصدأ Anti-Rust Additives
4- مادة منظفة Detergent Anti-Rust

والزيوت المستخدمة تختلف فى درجة لزوجتها ويأخذ كل زيت درجة محددة معترف بها مثل 40 - 30 - 20 - 10 - 5، والدرجات المنخفضة تستخدم فى فصل الشتاء أما الزيوت ذو الدرجات العالية تستخدم فى فصل الصيف. وتوجد زيوت جديدة متعددة الدرجات يمكن استخدامها صيفاً وشتاءاً مثل (40 - 10).

توصف الزيوت المستخدمة فى المحرك على حسب درجات معينة وضعتها جمعية مهندسى السيارات ***Society Automotive Engineers (SAE)*** أساسا على حسب درجة لزوجتها ***(Viscosity)*** عند درجة حرارة - 18م (صفر فهرنيت) وعند 99م (210° فهرنهيت) كما هى مبينة فى جدول (7-1).

وهناك زيوت ذو درجات مختلفة *(Multi Grade Oil)* مثل *5W-20* وذلك لتناسب درجات الحرارة المختلفة. ويوضح شكل (7-2) العلاقة بين درجة

حرارة الزيت واللزوجة للأرقام المختلفة للزيوت. ويلاحظ أن الزيت متعدد الأرقام ***(5W- 20)*** لا تتغير لزوجته بتغير درجة الحرارة بالمقارنة بالزيوت أحدية الأرقام.

يجب أن يضاف الزيت والمحرك ساكن للأسباب الآتية:

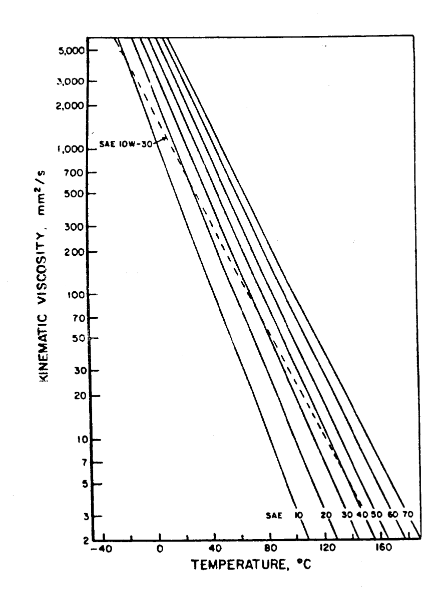
1- لأنه بإضافة الزيت والمحرك دائر تنخفض لزوجة الزيت حيث اللزوجة تتناسب عكسيا مع درجة الحرارة وتكون طبقة الزيت صغيرة جداً وبذلك يكون المحرك يعمل فى حالة تعرف بحالة عدم الثبات ***(Unstable)***. ويكون هناك فاقد فى القدرة.

2- بإضافة الزيت والمحرك ساكن يمكننا قياس منسوبه الحقيقى أما بإضافة الزيت والمحرك دائر يحدث طرطشة للزيت، ولا يعطى قراءة صحيحة لتدل على منسوبه الحقيقى.

جدول (7-1) تقسيمات لزوجة زيت المحرك طبقاً لـ SAE

SAE No.	Viscosity Units[2]	At 18°C (8)		At 99°C (210°F)	
		Min	Max	Min	Max
5W	mPa.s	-	1.200	3.4	-
	mm^2/s	-	1.300	3.8	-
	SUS	-	6.000	38.4	-
10W	mPa.s	1.200	2.400	3.7	-
	mm^2/s	1.300	2.600	4.1	-
	SUS	6.000	12.000	39.5	-
10W	mPa.s	2.400	9.600	5.0	-
	mm^2/s	2.600	10.500	5.6	-
	SUS	12.000	48.500	44.2	-
20	mm^2/s	-	-	5.7	9.6
	SUS	-	-	45.0	58.0
30	mm^2/s	-	-	9.6	12.9
	SUS	-	-	58.0	70.0
40	mm^2/s	-	-	12.9	16.8
	SUS	-	-	70.0	85.0
50	mm^2/s	-	-	16.8	22.7
	SUS	-	-	85.0	100.0

W = winter



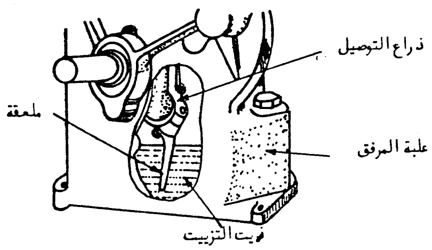
شكل (7-2) العلاقة بين درجة حرارة الزيت واللزوجة للأرقام المختلفة للزيوت

7-3- طرق التزييت:

إن أهم الأجزاء المتحركة فى المحرك والتى تحتاج الى عناية فى تزيينها هى جدران الأسطوانة وكراسى المحاور وبنز المكبس وروافع الصمامات. ويصل الزيت الى هذه الأجزاء بعدة طرق منها: طريقة الرش وطريقة التثاقل وطريقة الضغط وطريقة مشتركة بين الرش والضغط أو بين الرش والتثاقل. وفيما يلى شرح لكل من هذه الطرق:

أ- طريقة التزييت بالرش:

طريقة التزييت بالرش موضحة بشكل (7-3) وهى أبسط طرق التزييت وفيها تكون علبة المرفق مغلقة، حيث يحفظ بها مقدار من زيت التزييت بمستوى مناسب بحيث تنغمس فيه ملعقة مثبتة بالنهاية الكبرى لذراع التوصيل أثناء حركته فيعمل على رش الزيت داخل المحرك فيصل إلى جدران الإسطوانة وبقية الأجزاء الداخلية للمحرك لتزييتها مثل بنز المكبس وكراسى المحاور. وفى الغالب توجد أحواض فى مستوى أعلى من عمود الكامات وكراسى المحاور تستقبل الرذاذ العائد إلى أسفل حيث يوزع منها الزيت المتجمع فيها بطريقة التثاقل إلى كراسى المحاور وكراسى عمود الكامات عن طريق فتحات توصل بها.



شكل (7-3): طريقة التزييت بالرش

وتستعمل نظرية التزييت بالرش فى بعض المحركات الصغيرة ذات الإسطوانة الواحدة فقط ولا تستعمل فى غيرها لما لها من عيوب أهمها:

1- عدم انتظام عملية التزييت وذلك لعدم ثبات سطح الزيت داخل علبة المرفق على منسوب واحد بل بتغير بغير سرعة المحرك. ففى السرعة العالية لايجد الزيت الوقت الكافى لرجوعه إلى العلبة بعد قيامه بعملية التزييت فينخفض سطحه وبالعكس عند نقص السرعة يرتفع سطحه.

2- تكرار استعمال الزيت دون تنقيته.

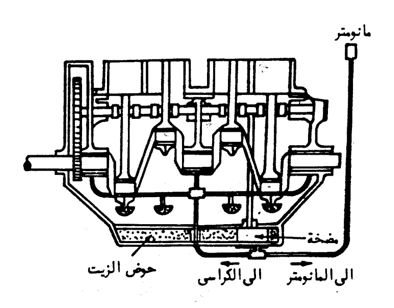
3- اختلاف كمية الزيت الواصلة إلى الإسطوانة المختلفة فى المحركات المتنقلة العديدة الإسطوانات وذلك أثناء صعود سيارة مثلا فى طريق مرتفع إذ أن سطح الزيت داخل علبة المرفق يميل مع الجرار أو السيارة فينخفض فى جهة الإسطوانة الخلفية وعلى ذلك فلا يتساوى التزييت فى الإسطوانات المختلفة.

ب- طريقة التزييت بالضغط والرش.

قد أدخلت على الطريقة السابقة عدة تحسينات منها عمل أحواض منفصلة لكل إسطوانة ثم استعمال مضخة لتغذية هذه الأحواض بالزيت من قاع العلبة وذلك بعد إمراره بمصفاة تعمل على تنقيته قبل وصوله إلى الأحواض. وبذلك يمكن جعل منسوب سطح الزيت ثابتا تقريبا فى بعض الأحواض مهما كان ميل المحرك علاوة على استمرار تنقية الزيت قبل استعماله. ويوضح شكل (7-4) رسما تخطيطيا لطريقة التزييت بالضغط والرش فالمضخة مغمورة فى قاع علبة المرفق وتوزع الزيت الى فرعين أحدهما إلى جهاز قياس الضغط (مانومتر) والآخر إلى كراسى المحاور وأحواض الزيت التى تغمس فيها النهايات الكبرى لأذرع التوصيل لرش الزيت.

جـ- التزييت بالضغط:

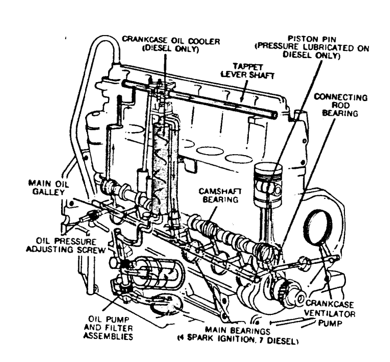
فى هذه الطريقة تزيت جميع كراسى المحاور وبنز المرفق وبنز الكباس وروافع الصمامات وكراسى عمود الكامات وتروس التوقيت بطريقة الضغط. فيصل الزيت بواسطة ضغط المضخة إلى جميع هذه الأجزاء.



شكل (7-4): يوضح رسما تخطيطيا لطريقة التزييت بالضغط والرش

ويصل الزيت إلى "بنز" الكباس عن طريق ممر مثقوب بذراع التوصيل شكل (7-5) أما الزيت المتناثر من حول "بنز" الكباس وذراع التوصيل فيعمل على تزييت جدران الإسطوانة. وطريقة التزييت بالضغط هى الطريقة الشائعة الأستخدام فى المحركات.

يتكون جهاز التزييت بهذه الطريقة من مضخة الزيت ومرشح الزيت ومنظم الضغط ومصفاه. وبعض المحركات بها منظم للحرارة أو مشع لتبريد الزيت، وفى الوقت الحاضر يتم تهوية لعلبة المرفق لطرد الغازات التى تؤثر على جودة الزيت كما تعمل التهوية على تبريده.

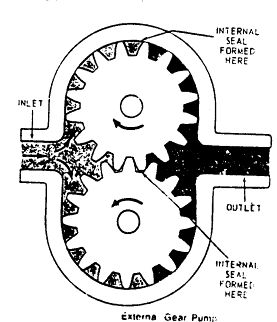


شكل (7-5): التزييت بالضغط

7-4- الأجزاء الرئيسية لجهاز التزييت:

7-4-1- مضخة الزيت *Oil Pump*

وظيفتها ضغط الزيت داخل مسارات خاصة وأنابيب إلى مختلف أجزاء المحرك التى تحتاج إلى تزييت. وإما أن تغمر المضخة فى زيت علبة المرفق وإما أن توضع خارج العلبة فى مستوى أعلى من مستوى الزيت فيها حيث تمتص الزيت عن طريق أنابيب تصلها بزيت علبة المرفق. وتدار المضخة بواسطة تعشيقة تروس من عمود الكامات وهناك أنواع عديدة من مضخات الزيت والأكثر استعمالاً هى: **المضخة الترسية *Gear Pump*** وهى أبسط أنواع المضخات ويتركب من ترسين معشقين مع بعضهما ومحفوظين داخل غلاف كما بشكل (7-6) ويكتسب أحد الترسين حركته من المحرك، أما الثانى فيدور حرا حول محوره عن طريق تعشيقه مع الترس الأول وتكون المضخة مغمورة فى الزيت. فعند دوران الترسين كما هو مبين بالأسهم يدخل الزيت فى المسافة التى بين الأسنان وجدران الغلاف حيث تكون عبارة عن جيوب ينحصر فيها الزيت ويحمل من المدخل إلى المخرج حيث يطرد من بين الأسنان عند تعشيقها فيندفع الزيت إلى ماسورة التوزيع على ضغط قد يصل إلى 7 كجم/سم^2. ويمنع الزيت من الرجوع إلى جهة الداخل بأن تكون تعشيقة الأسنان مناسبة تماما كما أن الخلوص بين الترسين وجدران الغلاف يكون ضئيلا جدا.



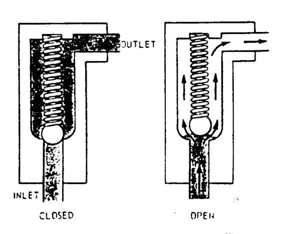
شكل (7-6): المضخة الترسية

7-4-2- مصفاة الزيت:

الغرض منها تنقية الزيت من المواد الغريبة ومنعها من الوصول مع تيار الزيت إلى أجزاء المحرك. وهى عبارة عن شبكة سلكية دقيقة الفتحات توضع فى حوض الزيت. ويمر بها قبل دخوله إلى المضخة.

7-4-3- صمام الفائض (الأمان) *Oil valve*

تصنع مضخة الزيت بحيث تكون قادرة على تغذية أجزاء المحرك بكمية من الزيت أكبر مما تحتاج إليها. ولتخفيف ضغط الزيت عندما يدور المحرك بسرعة مرتفعة تزود بصمام فائض. ويتركب صمام الفائض (الأمان) كما هو موضح فى شكل (7-7) من كرة تحفظ على قاعدتها بضغط زنبرك فإذا ما زاد ضغط الزيت فى ماسورة الطرد عن ضغط الزنبرك فتح الصمام لتصريف جزء من الزيت فيعود عن طريق فتحة الدخول.



Operation of Lubricating Valve

شكل (7-7): صمام الفائض (الأمان)

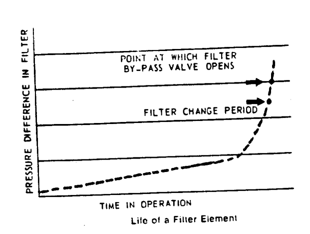
7-4-4- فلتر الزيت Oil Filter

لايبقى زيت التزييت على حالته النقية، وانما يتعرض أثناء تشغيل المحرك للتلوث باحتوائه على جزيئات دقيقة معدنية نتيجة تآكل أجزاء المحرك، وبالأتربة وجزيئات من رواسب الكربون المتكون على جدران الإسطوانة، وعندما ترتفع درجة حرارة المحرك بدرجة عالية يصبح الزيت صمغى القوام، مكونا نواتج راتينجية وشبه ورنيشية.

وجميع هذه الشوائب الضارة تؤدى إلى سرعة تآكل أجزاء المحرك، ولذلك تزود مجموعة تزييت المحرك بمرشح (فلتر) يعمل على حجز هذه الشوائب من الزيت. وبذلك يقل التآكل فى أجزاء المحرك والناتج من وجود هذه الشوائب الغريبة.

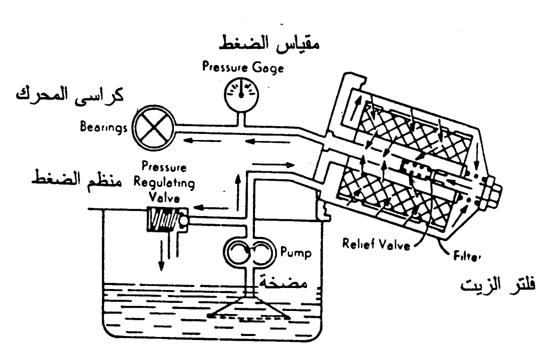
وفلتر الزيت ما هو الا وسيلة لتنقية الزيت من الكربون والشوائب المتبقية بعد عملية الأشتعال. وهذه الشوائب تتراوح فى حجمها من 40 الى 200 ميكرون. وجودة الفلتر يعتمد على مدى حجز هذه الشوائب. وطبيعيا فأنه بمرور الوقت على الفلتر فأن قابليته على حجز الشوائب الصغيرة تزداد ولكن هذا له تأثير عكسى على معدل سريان الزيت من الفلتر نتيجة لإنسداد فتحات الفلتر بالرواسب. يوضح شكل (7-8) العلاقة بين عدد ساعات التشغيل والفرق بين الضغط قبل وبعد الفلتر ويلاحظ أنه يجب تغير الفلتر فى الفترة التى عندها يزداد الضغط زيادة مفاجأة.

وتزال الشوائب من الزيت بضغطه الفلتر ومن خلال الزيت الوارد من مضخة الزيت الى داخل نسيج مسامى الذى يعمل على حجز الشوائب، ثم يتجه الزيت بعد ترشيحه إلى أنبوبة معدنية مثقبة فى وسط الجهاز ومنها يخرج الى الأجزاء المطلوب تزييتها ويستمر المرشح يؤدى وظيفته حتى يمتلىء بالشوائب فيغير النسيج أو يغير الفلتر.



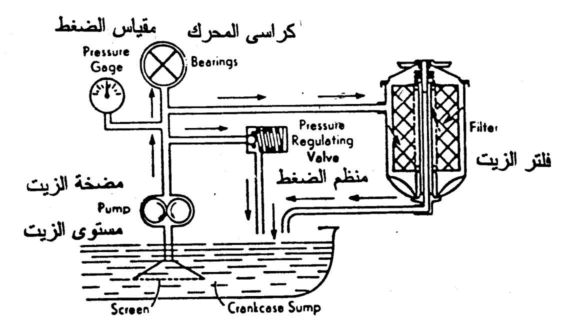
شكل (7-8) العلاقة بين عدد ساعات التشغيل والفرق بين الضغط قبل وبعد الفلتر

وهناك طريقتين من طرق تنقية الزيت. الطريقة الأولى كما يتضح فى شكل (7-9) تسمى طريقة التنقية الجزئية حيث أن الفلتر يقوم بتنقية جزئية للزيت من الشوائب الكربونية الناتجة عن عملية الاشتعال أما بقية الزيت الذاهب إلى أجزاء المحرك لا يمر على الفلتر.



شكل (7-9): نظام الترشيح الكلى (التنقية الكلية) للزيت

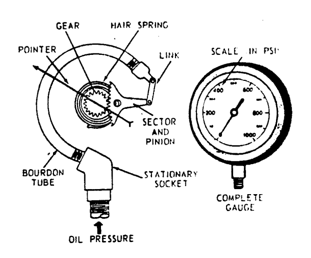
والطريقة الثانية كما يتضح فى شكل (7-10) وتسمى بالتنقية الكلية حيث أن كل الزيت يمر أولاً على الفلتر.وميزة الطريقة الأولى أنه إذا حدث عطل فى الفلتر نتيجة انسداده مثلاً فهناك ضمان لوصول الزيت الى المحرك ولو أن تنقيته كانت جزئية. أما الطريقة الثانية فهناك خطر شديد على المحرك حيث أنه إذا حدث عطل فى الفلتر فإن الزيت لا يصل الى المحرك مما يعرضه لأضرار عد التزييت وعليه فإن هذا النوع من طرق التزييت يجب تغيير مرشح الفلتر عند عدد ساعات تشغيل أقل من الطريقة الأولى حتى لا يتعرض للانسداد.



شكل (7–10): نظام الترشيح الجزئى (التنقية الجزئية) للزيت

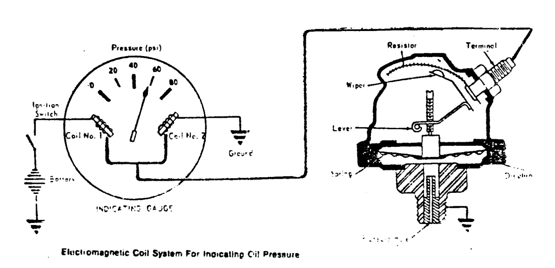
7–4–5– مبين ضغط الزيت:

يزود التابلوه الخاص بقيادة القيادة أو لوحة التحكم فى تشغيل أى محرك على مبين لبيان ضغط الزيت ويوضح شكل (7–11) إحدى الوسائل المستخدمة لبيان ضغط الزيت فى المحركات وهو عبارة عن أنبوبة على شكل قوس يمر بها الزيت فعند زيادة ضغطه يتمدد هذا القوس محركاً ترس مركب عليه مؤشر يوضح ضغط الزيت. وكذلك يوجد نوع آخر من مبين الزيت يعرف بمبين ضغط الزيت الكهرومغناطيسى كما هو بشكل (7–12) وهو يشبه فى تركيبه وتشغيله مبين مستوى سطح الوقود فى خزان الوقود السابق ذكره. وفى كثير من الأحيان يتم بيان ضغط الزيت عن طريق لمبة كما هو موضح فى شكل (7–13) فإذا ارتفع ضغط الزيت أو حدث أى تغير فى الدورة تضاء هذه اللمبة لتنبه السائق أو العامل أن هناك خللاً فى دورة التزييت.



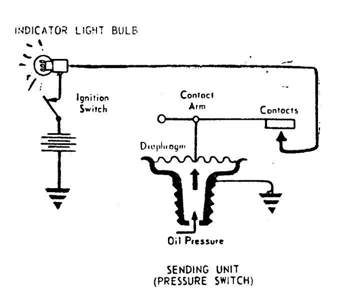
Bourdon Tube Oil Gauge

شكل (7-11): مبين ضغط الزيت الذى يعتمد على تمدد أنبوبة



Electromagnetic Coil System For Indicating Oil Presnure

شكل (7-12): مبين ضغط الزيت الكهرومغناطيسى



Pressure Switch System for Indicating Oil Pressure

شكل (7-13): مبين ضغط الزيت ذو اللمبة

7-5- صالحية زيت التزييت:

يكون زيت التزييت صالحا طالما كانت جميع الظروف ودرجات الحرارة التى يعمل عندها ملائمة، ولكن عدم ملائمة هذه الحالات بعد فتره من الاستعمال يؤدى إلى عدم صالحية الزيت للتزييت نهائيا.

ويفسد الزيت نتيجة لأكسدته وتميعه وامتزاجه بالماء والكربون والمعادن والأتربة. وهذه المواد الغريبة عندما تمتزج بالزيت تفسده وتجعله أشبه بالسائل لونه أسود أوبنى أو رمادى، ويوضح جدول (7-2) الآتى مقارنة بين تركيب الزيت الصالح للاستعمال والزيت الفاسد:

جدول (7-2) مقارنة بين تركيب الزيت الصالح للاستعمال والزيت الفاسد

المادة	النسبة ٪ للزيت العادى	النسبة ٪ للزيت الفاسد
الزيت	83.1	-
الماء	6.2	26.7
بنزين	4.7	37.8
كربون منفصل (سناج)	1.6	9.5
مواد مؤكسدة	0.8	4.7
مواد معدنية	3.6	21.3

وهذه المواد الغريبة تعمل على إعاقة مصفاة الزيت وتسد مسامها وتعطل مجارى الزيت فتؤدى إلى تقليل الكمية المضغوطة إلى أجزاء المحرك وتكون النتيجة إنصهار سبيكة الكراسى وتلف الأجزاء التى تعتمد على الزيت فى حركتها. كما أن ظهور الرواسب يؤدى إلى إعاقة عمل المرشح وسد مجاريه وتماسك الشنابر والصمامات، وفيما يلى الأسباب التى تؤدى إلى فساد الزيت.

1- الأكسدة:

أن زيت التزييت الذى يتعرض للحرارة المرتفعة وغاز الأكسجين يتأكسد كلية وتتوقف سرعة الأكسدة على أرتفاع درجة الحرارة ودرجة تعرض الزيت للأكسدة ووجود المعادن التى تساعد على سرعة التأكسد. تكون نتيجة ذلك تكون حمض ومواد لزجه ذات لون مسود تشبه القار. وارتفاع درجة الحرارة تساعد الأحماض على تآكل الأجزاء على الأخص كراسى المحاور. أما المواد اللزجة السوداء فتتراكم فوق أجزاء المحرك وهى تسبب تماسك الصمامات وتلاصق الشنابر بمجاريها.

2- التـميع:

إن تميع الزيت الموجود بعلبة المرفق ينتج من تسرب البنزين الذى لا يحترق بغرفة الاحتراق إلى علبة المرفق من الخلوص الذى بين المكبس وجدران الإسطوانة.

ويعمل البنزين على خفض لزوجة الزيت بتخفيف قوامه ويتسبب عن ذلك زياده فى تآكل الأسطح المنزلقة. وهذا التميع يحدث بكثرة فى الجو البارد وعلى الأخص عند كثرة بدء وإيقاف حركة المحركات دون أعطائها الوقت الكافى لتسخينها بدرجة كافية ليتبخر البنزين الذى يحتوى عليه زيت التزييت.

3- المـاء:

يتكون الماء أثناء اشتعال الشحنة فى محركات الاحتراق الداخلى باتحاد أكسجين الهواء مع أيدروجين الوقود ويظهر داخل غرفة الأحتراق فى صورة بخار ماء يخرج مع العادم دون حدوث أى ضرر وذلك عند التشغيل العادى للمحرك. أما عند بدء حركة المحرك فتكون جدران الإسطوانة باردة فيتكاثف على جدرانها جزءا كبيرا من بخار الماء حيث يتسرب إلى علبة المرفق بتأثير حركة الشنابر. هذا علاوة على ما يصل من ماء إلى علبة المرفق من قميص التبريد أو تكاثف بخار الجو على الجدران الداخلية لعلبة المرفق (لاتصالها بالجو عن طريق فتحة التهوية) خصوصا فى الأجواء الرطبة. ووجود الماء مع الزيت يكون حمضا يعمل على تآكل الأجزاء الحديدية كما يضر كراسى المحاور.

4- الكربون:

الكربون الذى يمتزج بزيت التزييت ينتج من عدم الاشتعال التام للشحنة ويتكون فى غرفة الاحتراق بكثرة خصوصا عندما تكون الشحنة غنية، كما فى حالة بدء حركة المحرك. كما يحدث أيضا عندما تحترق الشحنة احتراقا غير تام خصوصا والمحرك بارد ويصل الكربون علبة المرفق عن طريق امتزاجه بزيت

التزييت العائد إليها بتأثير الشنابر. كما أن جزءا من الكربون يصل علبة المرفق بتأثير رشح الغازات بين المكبس وجدران الإسطوانة.

5-المعادن:

يمتزج الزيت بذرات المعادن المتفتته من التآكل المستمر للشنابر وجدران الإسطوانة والمكبس والحديد هو أهم المعادن التى توجد مختلطة مع الزيت كما أن الصدأ يحدث من تكاثف بخار الماء على جدران الإسطوانة ويزيد من كمية المعدن مع الزيت. لذلك يفضل استعمال مكابس الألومنيوم واللقم النحاسية.

6- الأتربة:

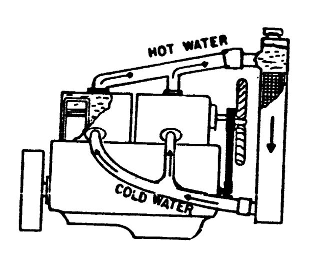
تدخل الأتربة إلى المحرك عن طريق هواء المسحوبة من جهاز دخول الهواء وكذلك من خلال فتحة تهوية علبة المرفق. وكل هذه المواد الغريبة السابقه تمتزج بالزيت وتجعله غير صالح للاستعمال.



الباب الثامن

جهـاز التبريـد

The Cooling System



الباب الثامن

جهاز التبريد

The Cooling System

8-1- مقدمـة

تصل درجة حرارة الغازات داخل الإسطوانة أثناء عمليـة الاحتراق إلى درجة حرارة عالية جداً وتمتص جدران الإسطوانة ورأسها والمكبس والإسطوانات جزءا من هذه الحرارة فترتفع درجة حرارتها. وإذا لم تبرد هذه الأجزاء لتصريف هذه الحرارة يؤدى ذلك إلى إحمرار سطح غرفة الاحتراق واحتراق الصمامات واحتراق زيت التزييت ولتمدد أجزاء المحرك لدرجة تتماسك عندها الأجزاء المتحركة كالمكبس والكراسى وتسلخت عندها جدران الإسطوانة وتوقف عمل المحرك حتى أن هذه الحرارة تكون كافية لصهر الإسطوانة.

يفقد فى جهاز التبريد حوالى ثلث الطاقة الحرارية الناتجة من الوقود فجزء منها ينتقل إلى الأجزاء المعدنيـة بالمحرك وبالتالى يجب سحب تلك الحرارة من المحرك منعا لارتفاعها فوق درجة حرارة معينة والتى تحفظ المحرك من أضرار ناتجة عن ارتفاع درجة حرارة المحرك بين 70°-90°م فإذا كانت أقل من 70°م كانت هناك صعوبة فى اشتعال الوقود، وينتج عنه وقود غير كامل الأشتعال. أما إذا زادت عن 90°م فإن التمدد المختلف لأجزاء المحرك يؤدى الى كسر بعض الأجزاء بالإضافة إلى حدوث اشتعال ذاتى لشحنة الوقود فى غير الوقت المحدد.

8-2- طرق التبريد *Methods of Cooling*

وهناك طريقتان لتبريد محركات الاحتراق الداخلى:

1- طريقة التبريد بالهواء *Air-Cooling Method*

2- طريقة التبريد بالماء *Water Cooling Method*

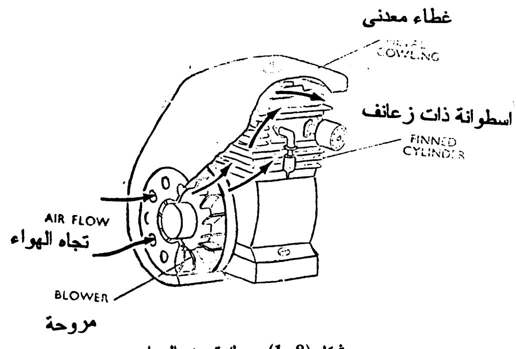
8-2-1- التبريد بالهواء *(Air-Coling System)*

تبرد إسطوانة المحرك فى هذه الطريقة بواسطة تيارات من الهواء الجوى وعلى ذلك لا تصلح الطريقة إلا للمحركات المتنقلة كالطائرات أو" الموتوسيكلات" حيث ينشأ تيار الهواء أثناء سيرها أو عند دوران مروحة خاصة بها.

وبما أن امتصاص الهواء للحرارة ضعيف لذلك يلزم أن يزداد سطح التبريد المعرض للهواء وذلك بواسطة عمل أضلاع (زعانف) عديدة للإسطوانة تكون عمودية على محورها فتساعد على إشعاع حرارة الإسطوانة إلى الجو.

وتستخدم هذه الطريقة فى المحركات الصغيرة. وميزة هذا النوع من التبريد قلة الاجزاء المتحركة وعدم الاحتياج إلى قدرة كبيرة له. ولكن كفاءته فى عملية التبريد تكون محدودة حيث أن كمية الحرارة تعتمد على معامل انتقال للهواء وهذا المعامل صغير إذا ما قورن بمعامل التوصيل الحرارى للماء. ويعتمد التبريد بالهواء على درجة حرارة هواء التبريد وسرعته وعلى مساحة التلامس وأيضا على اتجاه الزعانف بالنسبة لاتجاه حركة الهواء.

تتميز طريقة التبريد بالهواء بوجود زعانف حول الجدران الخارجية للإسطوانة وظيفتها تعريض أكبر مساحة ممكنة من الإسطوانة لتيار الهواء، وقد تستخدم مروحة خاصة لتوجيه الهواء إلى هذه الزعانف، ويوضح شكل (8-1) محرك تبريد بالهواء.



شكل (8-1) محرك تبريد بالهواء.

8-2-2- التبريد بالماء *Water Cooling*

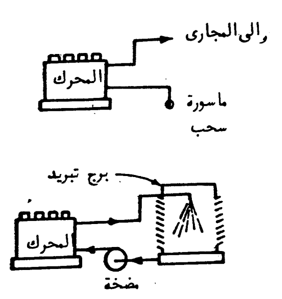
فى هذه الحالة يسبك مع الإسطوانة قميص يحيطها من الخارج بحيث يمر الماء فى الفراغ الذى بينهما، وكذا يمر الماء فى تجاويف برأس الإسطوانة وفى المحركات الكبيرة يمر الماء فى تجاويف صمام العادم.

وحيث أن المحركات المتحركة كالسيارات ليس فى إمكانها إلا حمل كمية محدودة من ماء التبريد، لهذا وجب العمل على إيجاد طرق لتبريد هذا الماء بعد خروجه ساخنا من قميص الإسطوانة حتى يمكن إعادة أستعماله. وتتم عملية التبريد هذه فى جهاز يسمى المشع (الرادياتير)، وهناك عدة طرق للتبريد بالماء *Water Cooling methods*.

أ – طريقة التبريد المفتوحة :

فى هذه الطريقة إما أن لا تعود المياه التى تخرج من قميص التبريد على الإطلاق وأما أن تعرض للهواء قبل إعادة استعمالها ويوضح شكل (8–2). طريقة التبريد المفتوحة. ففى شكل (8–2أ) تذهب المياه الخارجة من المحرك إلى المجارى أو يستفاد بها فى عمليات أخرى بحيث لا تستعمل ثانيا فى تبريد المحرك. أما فى شكل (8–2ب) فيتم تبرد المياه الساخنة الخارجة من المحرك بواسطة برج تبريد أو حوض تبريد وذلك بتعرض المياه للهواء والسماح بتبخير جزء قليل منها. أما بقية المياه فتفقد حرارتها أثناء عملية التبخير هذه. وبعد تبريد المياه بهذه الطريقة تضغط ثانية إلى المحرك بواسطة مضخة لإعادة استعمالها وتسمى هذه الطريقة بطريقة التبريد المفتوحة أو المكشوفة نظرا لأن المياه تكون مكشوفة أو معرضة للهواء.

ومن أضرار هذه الطريقة سرعة تكوين الرواسب والأتربة فى قميص تبريد المحرك. ففى حالة عدم استعمال المياه الخارجة من المحرك مرة ثانية فى التبريد باستعمال مياه جديدة باستمرار تعمل هذه المياه الجديدة دائما على جلب مواد غريبة. أما حالة إعادة استعمال المياه ثانية بعد تبريدها بتبخر جزء منها من برج التبريد أو حوض التبريد فإن مقدار يفقد منها يقدر بنحو 2 الى 4 لتر/(حصان فرملى. ساعة). وهذا الفقد يستلزم تعويضه باستمرار بإضافة مياه جديدة تجلب بالطبع مواد غريبة. وحيث أن البخار لا يعمل معه المواد الغريبة نجد أن هذه المواد تتركز باستمرار وتعمل على تغطية سطح قميص التبريد بطبقة عازلة للحرارة ربما يكون ضررها أكبر مما لو صرفت المياه الى المجارى. وعموما فأنه يمكن استعمال الطريقة المفتوحة بأمان تام أذا ما كانت المياه نقية ومتوفرة.



شكل (8-2): طرق التبريد المفتوح

ب- طريقة التبريد المغلقة.

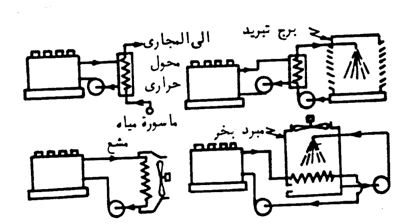
فى هذه الطريقة تتم دورة مياه تبريد القميص خلال مبدل حرارى وعلى ذلك تبقى نفس مياه التبريد لاتتغير إطلاقا ويعاد تبريدها بعدم تعرضها للهواء كما فى الطريقة السابقة. فأذا ما كانت هذه المياه نقية عند بدء استعمالها فأنها تستمر كذلك على الدوام. والمبدل الحرارى إما أن يعمل بالمياه أو الهواء كوسيلة للتبريد ويسمى فى الحالة الأخيرة مشعا كما فى حالة تبريد محركات السيارات.

ويوضح شكل (8-3) بعض الرسومات التخطيطية لطرق التبريد المغلقة. فالطريقة يستعمل فيها مبدل حرارى يعمل بالمياه فأما أن تمر هذه المياه خلال المبدل مرة واحدة فى حالة توفر المياه ولا يكون هناك داع لتخزينهاكما هو واضح فى شكل (8-3أ). أو تكن المياه متوفرة أو أمكن توفير 90-95٪ منها بإعادة استعمالها بعد تبريدها بواسطة برج تبريد أو حوض كما فى شكل (8-3ب).

ويلاحظ أن تراكم الرواسب فى المبدل الحرارى ليس من الخطورة التى تكون فى قميص تبريد المحرك ويمكن بسهولة تنظيفة، كما يجب ملاحظة أن مرور المياه خلال مواسير المبدل يجعل من اليسير تنظيف المواسير من الداخل وذلك أيسر من تنظيفها من الخارج.

ويوضح شكل (8-3ج) استعمال المشع (الرادياتير) مع طريقة التبريد المغلقة (مبدل حرارى يعمل بالهواء) وفى هذه الطريقة يندفع الهواء بواسطة مروحة حيث يعمل على تبريد المياه التى بداخل مواسير المشع ويلاحظ عدم تعرض المياه للهواء وعلى ذلك فليس هناك أى عملية تبخير اطلاقا.

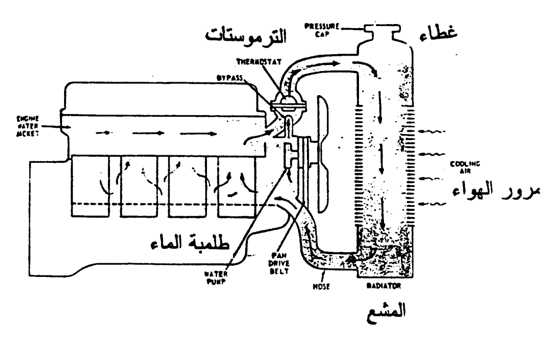
كما يوضح شكل (8-3د) طريقة استعمال مبدل حرارى يعمل بالمياه المتدفقة من برج تبريد حيث تتدفق مياه التبريد القميص خلال فلتر من المواسير بينما المياه الثانوية ترش فوقها، وعلاوة على ذلك يمر تيار هواء من مروحة فوق المواسير حيث يعمل على تبخير بعض المياة الثانوية التى فوق سطح المواسير ويساعد على تبريد مياة القميص التى بداخل المبدل الحرارى.



شكل (8-3) طرق التبريد المغلق

8-3- دورة التبريد بالمياه :

ويوضح شكل (8-4) دورة تبريد المياه الشائع استخدامها مع المحركات ذات القدرة العالية وفى معظم الجرارات الزراعية. وتتكون دورة التبريد بالمياه من المشع *Radiator* ومضخة المياه *Water pump* والمنظم الحرارى *Thermostate* والمروحة *Fan* وتتم دورة التبريد عن طريق سحب المياه الباردة من أسفل الرادياتير (المشع) بواسطة مضخة المياه. ويمر الماء البارد فى ممرات حول الإسطوانات. وتنتقل الحرارة إلى الماء الذى يمر بعد ذلك إلى الرادياتير. أثناء مروره فى الرادياتير يحدث تبريد للمياه ويصل الماء إلى قاع الرادياتير باردا وتتكرر الدورة مرة أخرى. الغرض تبريد المياه الساخنة الخارجة من قميص التبريد هو المحافظة على أن تكون درجة حرارته أقل من درجة الغليان بحيث لا تتعدى درجة حرارتها عن (70°م - 75°م). وفيما يلى الأجزاء الرئيسية لدورة التبريد.



شكل (8-4): دورة التبريد بالمياه

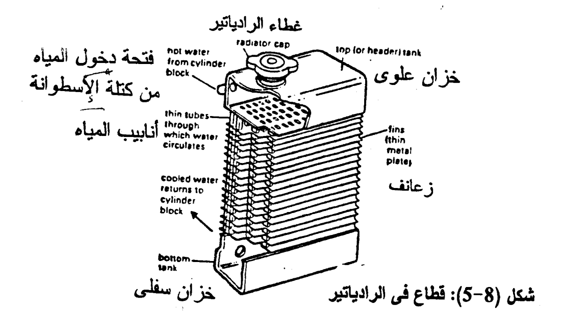
– مضخة مياه التبريد (Water Pump)

هى غالبا من النوع ذى القوة المركزية الطاردة وتستمد المضخة حركتها من عمود الكرنك بواسطة مجموعة تروس أو بواسطة جنزير.

–المشع (الرادياتير) Radiator.

ويوضع المشع فى مقدمة المحرك حيث يواجه الهواء. كما توضع مروحة هواء خلفه مباشرة وتدور بواسطة سير من عمود إدارة المحرك والغرض منها سحب الهواء الجوى خلال المشع للمساعدة فى عملية التبريد خصوصا إذا ما كانت السيارة بطيئة السرعة أو فى حالة الانتظار.

والمشع عبارة عن إناء يتركب من حوض فى أعلاه وآخر من أسفل يصل بينهما عدد كبير من الأنابيب الرفيعة لزيادة مساحة السطح المعرض لأنتقال الحرارة ولها معامل توصيل حرارى مرتفع، ويوضح شكل (8-5) قطاع فى الرادياتير. ويتصل الحوض العلوى بقمة الإسطوانة ويتصل الحوض السفلى بقاعها. حيث يمر فيه الماء الساخن الخارج من قميص التبريد خلال الأنابيب فيبرد بتأثير التيارات الهوائية الحادثة حول هذه الأنابيب. وللمشع أنواع عديدة منها :



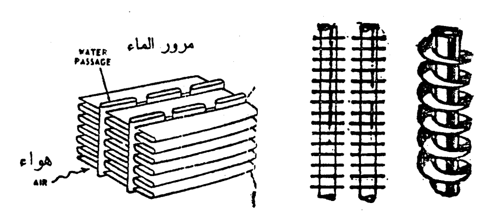
شكل (8-5): قطاع فى الرادياتير

1- المشع ذو الأنابيب ذات الزعانف:

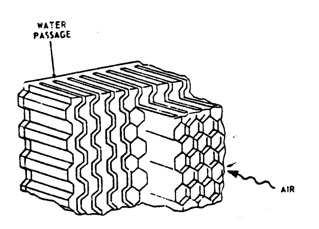
يبين فى شكل (8-6) مشع ذو الأنابيب ذات الزعانف وهو عبارة عن عدة أنابيب رأسية مستديرة أو مستطيلة القطاع تصل بين الحوض الأعلى والأسفل للمشع ويمر فيها الماء من أعلى إلى أسفل فى جميع المواسير وكل أنبوبة عبارة عن ممر مائى منفصل عن غيرها. وتزود الأنابيب غالبا بزعانف حلزونية أو مسطحة كما فى لزيادة السطح المعرض للهواء البارد وذلك لسرعة عملية التبريد. وهذا النوع من المشعات ما زال مستعملا فى سيارات النقل.

2- النوع ذو أنابيب على هيئة خلايا النحل:

يبين فى شكل (8-7) المشع ذو أنابيب على هيئة خلايا النحل وهو عبارة عن مجموعة من الأنابيب النحاسية القصيرة تبلغ 3000 أنبوبة بطول 10 سم توضع أفقية بجانب بعضها بين الحوض العلوى والحوض السفلى وتلحم نهايتها ببعضها وهذه النهايات ذات قطاع دائرى أو مسدس الشكل وذات أقطار كبيرة بحيث أنه بعد تصفيف الأنابيب بجانب بعضها يتكون بينها فراغ من حول كل أنبوبة تمر فيه مياه التبريد، بينما يمر الهواء داخل المواسير.



شكل (8-6) مشع ذو الأنابيب ذات الزعانف

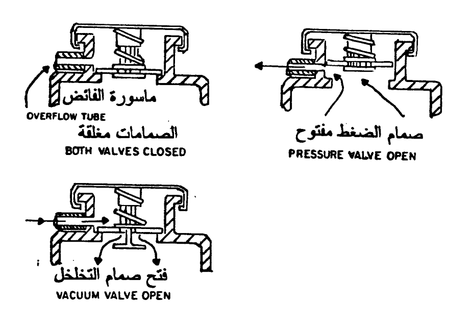


Cellular-Type Core Radiator

شكل (8-7) أنابيب مشعة على هيئة خلية نحل

ويحتوى المشع على غطاء يعمل هذا الغطاء على تنظيم الضغط داخل المشع حيث يحفظ الضغط داخله أكبر من الضغط الجوى بحوالى نصف كجم/سم^2 وذلك حتى يرفع من درجة غليان الماء إلى حوالى 110° م بدلا من 100° م. وهذا يسمح للمحرك بالعمل عند درجات حرارة عالية نسبيا للحصول على كفاءة أعلى لعملية التبريد ويوضح شكل (8-8) غطاء المشع.

ويوجد فى غطاء المشع صمامان، أحدهما يعرف بصمام الضغط والأخر صمام التفريغ. صمام الضغط يسمح بهروب بخار الماء من داخل المشع إذا زاد عن حد معين. أما صمام التفريغ يبدأ فى الفتح عند حدوث انخفاض فى الضغط أقل من اللازم داخل المشع وذلك يحدث عند إيقاف المحرك وحدوث تكثيف بخار الماء داخل المشع.



شكل (8-8) غطاء المشع

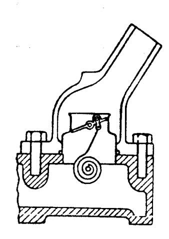
- جهاز تنظيم حرارة مياة التبريد *Thermostate* :

يجب أن تكون كمية المياه وسرعة سيرها فى قميص التبريد كافية لحفظ درجة حرارة المحرك ثابتة عند حد معتدل، فلا يجب أن تتعدى درجة حرارة المياة 75°م، وهذا من اليسير الحصول عليه إذا كانت سرعة المحرك وحمله ثابتين. إلا أن التغير فى السرعة أو العمل يسحبه تغير فى درجة حرارة المحرك. وعلى ذلك يجب تنظيم كمية مياه التبريد لتناسب سرعة المحرك والحمل الواقع عليه.

ففى المحركات الثابتة ينظم الماء الداخل إلى القميص بواسطة محبس. أما فى حالة المحركات المتنقلة فيصعب حفظ درجة الحرارة ثابتة دائماً لأن كمية الهواء الذى يتخلل المشع تتوقف على سرعة أنتقال المحرك ويتم تنظيم درجة حرارة مثل هذه المحركات بجهاز يسمى جهاز تنظيم الحرارة " ثرموستات" ***Thermostate*** ويوجد نوعين من أجهزة تنظيم الحرارة وهما:

1- جهاز تنظيم الحرارة ذو الملف المعدنى:

يتركب جهاز تنظيم الحرارة ذو الملف المعدنى كما فى شكل (8-9) من ملف معدنى على هيئة شريط مكون من طبقتين من معدنين مختلفى التمدد أختلافا كبيرا "الصلب والبرونز" ويتصل الملف بصمام خنق يدور حول محور والملف موضوع فى طريق مجرى المياه الخارجية من الإسطوانات. فعندما ترتفع درجة حرارة المياه عن الحد المعين يتمدد المعدن السريع التمدد بدرجة أكبر من المعدن الأخر ويتقوس الشريط ويعمل على فتح الصمام المتصل به فتمر مياة التبريد بكمية أكبر عاملة على خفض درجة الحرارة. فإذا ضبط الصمام بحيث يسمح بمرور كمية مناسبة من الماء عند درجة حرارة معلومة فإن هذه الكمية تزداد عند ارتفاع درجة الحرارة وتقل عند هبوطها وبذلك يمكن حفظ درجة الحرارة ثابتة تقريبا.



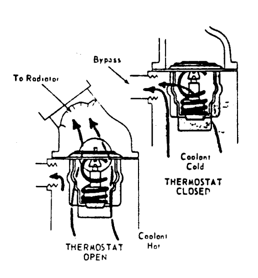
شكل (8-9): جهاز تنظيم الحرارة ذو الملف المعدنى

2- جهاز تنظيم الحرارة ذو المنفاخ:

يتركب كما فى شكل (8-10) من عدة أقراص صغيرة ومصنوعة من البرونز الرقيق ومتصلة ببعضها، صانعة ما يشبه المنفاخ ثم تملأ بسائل سريع التبخر مثل الأثير فعندما يسخن الماء الى درجة مرتفعه 65°م تقريبا يتحول السائل داخل المنفاخ الى بخار يؤثر ضغطه على المنفاخ فيتمدد ويبدأ الصمام فى فتح مجرى الماء للسماح له بالانسياب إلى المشع بكمية أكبر. وفى درجة 70°م يكون الصمام مفتوحا تماما الى نهايته وعندما تقل الحرارة عن 65°م ينكمش المنفاخ ويغلق الصمام فتتقطع حركة المياه من المشع، فتأخذ حرارة مياه التبريد المار حول الأسطوانات فى الارتفاع بسرعة إلى الدرجة التى تؤثر على السائل فيتبخر ويعمل على فتح الصمام كما ذكر سابقا. وهكذا يعمل الجهاز على أن لا تتعدى درجة حرارة مياة التبريد حدا معينا سواء فى الانخفاض والارتفاع.

ويوجد بصمام الجهاز ثقب صغير يسمح بمرور دورة مائية بطيئة عندما يكون الصمام مغلقا. ووجود هذا الثقب ضرورى خصوصا عند تزويد المشع بالماء عندما يكون الصمام مغلقا.

وقد يلاحظ أنه لايجب السماح لدرجة حرارة مياه التبريد بالوصول الى درجة الغليان حتى لا يؤثر ذلك على زيت التزييت فيحترق علاوة على تمدد أجزاء المحرك تمددا يؤدى الى زيادة الأجهاد. أما إذا كانت المياه باردة أدى ذلك إلى ضعف تبخر الشحنة وتكاثف البنزين على جدران الإسطوانة الداخلية وعمل على ميوعة زيت التزييت وفقدانه لخواصه.



شكل (8-10): جهاز تنظيم الحرارة ذو المنفاخ

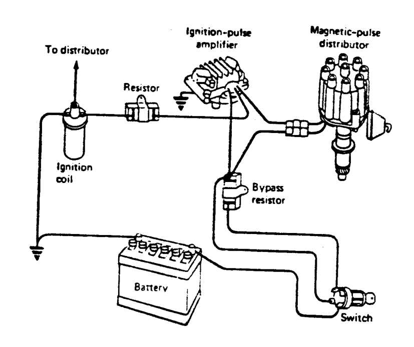
– المروحة *FAN*:

تعتبر المروحة من أهم أجزاء دورة التبريد خصوصا فى الأجواء الحارة فهى تعمل على سحب الهواء الكافى للتبريد خلال أنابيب المشع وهى فى موضعها خلفه، وتدار المروحة بالسير من طارة على عمود الإدارة. المروحة مركبة على نفس محور دوران مضخة مياة التبريد. ويجب العناية بسير المروحة والمحافظة عليه مشدودا لعدم انزلاقه حتى لا تقل سرعة المروحة عن السرعة المحددة لها. وفى بعض النظم قد تدار المروحة بالقدرة الكهربائية. حيث يتصل بالثرموستات فإذا كان مياه التبريد ساخنة تدور المروحة حتى تنخفض درجة حرارته عندما تتوقف المروحة أتوماتيكياً.

الباب التاسع

الأجهزة الكهربائية للمحرك

Engine Electrical System



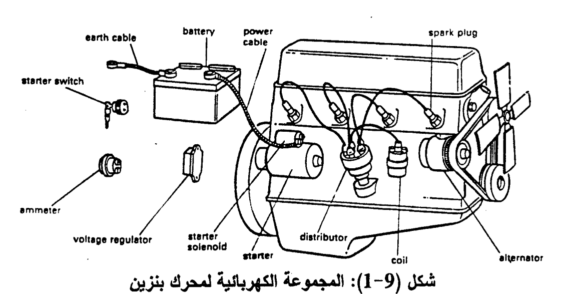
الباب التاسع

الأجهزة الكهربائية للمحرك
Engine Electrical System

9-1- مقدمة:

يناقش هذا الباب المجموعة الكهربائية المستعملة فى المحركات وللمجموعة الكهربائية عدة وظائف: فهى ببدء تشغيل المحرك تمهيدا لبدأ الاشعال وتشغيل الإضاءة وأجهزة القياس وتولد شرارات كهربائية (فى محرك البنزين فقط) من الفولت العالى التى تشعل مخلوط الهواء والوقود الضغوط.

ويوضح شكل (9-1) المجموعة الكهربائية فى محرك البنزين وهى تتكون حيث تتكون من بطارية ***Batttery***، ومولد كهربائى ***Generator***، ومنظم التيار ***Current*** Regulator، وموزع شرارة الاشتعال ***Distributer***، والملف وشمعات الاحتراق ***Ignition pluge***. ومحرك كهربى لبدء الحركة. ويختلف الحال فى محرك الديزل حيث تتكون المجموعة من البطارية ومولد كهربى لبدء الحركة.



شكل (9-1): المجموعة الكهربائية لمحرك بنزين

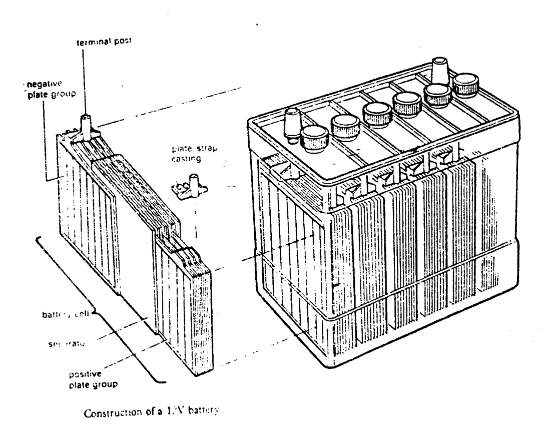
وتعتبر البطارية (شكل 9-2) جهازا كهربيا- كيماويا. ومعنى هذا أن عملها يعتمد على عمليتين: إحداهما كيماوية والأخرى كهربية. وتمد البطارية المجموعة الكهربية بالتيار الكهربى عند إدارة محرك بدء الإدارة، وفى الأوقات التى لا يمكن للمولد الكهربى أن يولد كمية كافية من التيار لجميع التوصيلات الكهربية. وعندما يسحب التيار الكهربى من البطارية حدث بداخله تفاعل كيماوى وتستهلك المواد الكيماوية الموجودة بالبطارية بواسطة هذه التفاعلات الكيماوية. وعلى ذلك فبعد سحب كمية معينة من التيار تصبح البطارية "فارغة" ولإعادة شحنها بالكهرباء يدفع بداخلها تيار من مصدر خارج عنها "المولد الكهربى" ويكون اتجاهه عكس إتجاه التفريغ. وتحدد كمية التيار الممكن الحصول عليه من البطارية بسعتها التى تعتمد بدورها على كمية المواد الكيماوية التى تحتويها البطارية. يوجد بالبطارية المواد الكيماوية الآتية:

1- رصاص إسفنجى وهو مادة صلبة.

2- أكسيد رصاص على شكل عجينة.

3- حامض كبرتيك على شكل سائل.

وتجمع هذه المواد الثلاثة بطريقة معينة بحيث ينتج عن التفاعل الكيماوى فيما بينها تيار كهربى. ويكون الرصاص الإسفنجى وعجينة أكسيد الرصاص على شكل ألواح سطحية شبكية بحيث تمثل الألواح الموجبة والألواح السالبة فى البطارية. ويتكون اللوح الشبكى من هيكل مصنوع من أعمده " قضبان " أفقية تقطعها قضبان رأسية من سبيكة الأنتيمون والرصاص. ثم تملأ الهياكل بحيث تصبح ألواحا مسطحة وذلك بواسطة عجينة من أكسيد الرصاص وتستعمل الأعمدة الأفقية والرأسية لحفظ عجينة الأكسيد فى مكانها. ويتم شحن البطارية شحنا ابتدائيا بعد تجميع بداخلها فيصبح أكسيد الرصاص فى الألواح السالبة رصاصا أسفنجيا ويحول أكسيذ الرصاص فى الألواح الموجبة إلى بيروكسيد الرصاص.



Construction of a 12V battery

شكل (9-2): البطارية

النشاط الكيماوى بالبطارية:

يتكون السائل فى البطارية " الألكتروليت " من 40٪ حامض كبرتيك، 60٪ ماء مقطر، وعندما يوضع حامض الكبرتيك بين الألواح يحدث تفاعل كيماوى فتنتقل بعض الالكترونات من إحدى مجموعتى الألواح إلى الأخرى فيحدث فرق جهد مقداره 2 فولت، وعندما توصل الدائرة من الخارج يحدث مرور تيار ويحدث انتقال عكسى للألكترونات فيحدث التفاعل مرة أخرى، وبعد مدة من التشغيل يحدث تشغيل فى المادة بحيث تتجه الكبريتات الى الألواح ويتحول السائل الى ماء فيقف نشاط المادة وتسمى البطارية فيرجع السائل الى صورته الأصلية الألواح إلى صورتها الأولى ويبدأ التفاعل من جديد.

معايرة البطارية:

يعتمد مقدار التيار الممكن الحصول عليه من البطارية على المساحة الكلية لسطوح الألواح وحجم المواد الفعالة الموجودة فى الألواح وكذلك على كمية وقود السائل الكهربى " الألكتروليت " ويمكن معايرة البطارية بطرق مختلفة أهمها الأتى:

1- معدل التيار فى عشرين ساعة

وهو معدل التيار الكهربى الممكن الحصول عليه من البطارية لمدة عشرين ساعة بحيث لا يقل ضغط الخلية عن 1.75 فولت وتتم التجربة فى درجة حرارة 80° ف، ولابد من الحصول على 5 أمبيرات لمدة 20 ساعة ليقال أن طاقة البطارية 100 أمبير ساعة (5×2).

2- معايرة الخمسة وعشرين أمبير:

وهو حساب الزمن الذى يمكن سحب تيار ثابت مقداره 25 أمبير عند درجة حرارة 80° ف، ولا يقل جهد الخلية عن 1.75 فولت، وهذا الرقم يمثل قدرة البطارية على أخذ الحمل الكهربائى الكامل " الإضاءة والإشعال... ألخ".

3- المعدل البارد:

تبين هذه المعايرة الزمن بالدقائق الذى يمكن خلاله للبطارية أن تعطى 300 أمبير، عند درجة حرارة 10° ف قبل أن ينخفض الجهد للخلية عن 1فولت حتى يمكن التحقق من أن البطارية قادرة على إدارة بدء الحركة، وفى العادة يكون المعدل البارد للبطارية 100 أمبير/ساعة هو سحب 3000 أمبير لمدة 3.6 دقيقه عند درجة حراره 10° ف.

9-2-2- المولد الكهربائى (الدينامو) *Generator*

المولد عبارة عن جهاز لتحويل الطاقة الميكانيكية المستمدة من المحرك إلى تيار كهربى ويعوض المولد البطارية عن التيار الذى أستهلك فى بدء أدارة المحرك، بالإضافة إلى توليد تيار كهربى لتشغيل الأجهزة الكهربية المختلفة كمجموعة الاشعال والإضاءة والراديو... إلخ. ويركب المولد الكهربى فى العادة إلى جانب

جسم المحرك ويدار المولد بواسطة عمود الكرنك بواسطة سير. وقد يتحرك المولد الكهربى بصورة مباشرة أو غير مباشرة مع المحرك، وهذه الصورة الغير مباشرة الاتصال للمولد الكهربى مع المحرك تتم عن طريق السيور فى أغلب المعدات الخفيفة، فالمولد الكهربى المستخدم يعطى جهد من 6 إلى 8 فولت، ولكن فى حالة الشاحنات العملاقة والجرارات وخاصة محركات الديزل يستخدم هذا النوع من المولدات الكهربية التى تعطى جهد تتراوح قيمته من 12 فولت إلى 24 فولت.

ويجب تنظيم الجهد للحصول على جهد وتيار صحيحان ثابتان عند السرعات المختلفة للمحرك وتحت أحمال كهربية مختلفة وهناك ثلاث طرق لعملية التنظيم:

1- تنظيم ناتج من خلال المولد الكهربى.
2- وجود مقاومة خارجية وقضبان من ملفات.
3- وجود ارتباط بين (1) ، (2).

وعندما يكون جهد المولد الكهربى أقل من جهد البطارية فسوف يسرى التيار الكهربى فى الاتجاه المعاكس أى اتجاه تفريغ الشحنة من البطارية.

- التحكم فى التيار الخارج من المولد:

تولد المولدات الكهربية تيارا كهربيا نتيجة لوجود الضغط الكهربى أو الفولت المستنتج بها فإذا لم يحتوى المولد على جهاز للتحكم فى التيار الخارج منه، زاد الضغط الكهربى بزيادة سرعة المولد بحيث يصبح الفولت عاليا. وبذلك ينتج تيار كبير للغاية وعليه ففى السرعات العالية، تتعرض الأجهزة الكهربية للضغط الكهربى العالى ويشحن المركم بتيار يزيد عن طاقته ولمنع كل ذلك تزود المولدات الكهربية المختلفة بأجهزة للتحكم فى التيار الخارج من المولد والثانى للتحكم فى الفولت.

9-2-4- المنظمات *Current Regulator*

كما ذكر سابقا تتحكم المنظمات فى التيار الخارج من المولد وكذلك الفولت لمنع الضرر البالغ الذى قد يحدث نتيجة للزيادة التيار والفولت. ومن هذه الأجهزة:

1- منظم الفولت المتذبذب.

2- منظم التيار المتذبذب.

3- منظم التيار والفولت.

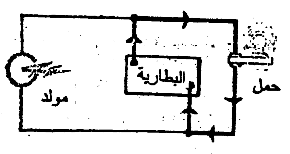
وكل هذه الأجهزة تعمل بنفس فكرة قاطع التيار التلقائى.

9-3- الدوائر الكهربائية فى المحركات:

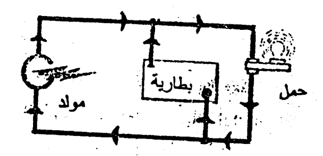
تنقسم الدوائر الكهربائية فى المحركات إلى ثلاث دوائر كهربائية كالآتى:

9-3-1- دوائر الشحن والتفريغ :

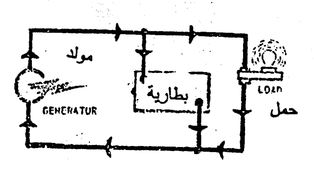
ويوضح شكل (9-4 أ) دائرة الشحن وفيها يتم انتقال الكهرباء المتولدة من المولد خلال الكابلات إلى القطب الموجب للبطارية ويتم التفاعل الكيميائى بين القطب الموجب والسائل فى البطارية وتنتقل الكهرباء إلى القطب السالب للشاحن. من ذلك يتضح أن الكهرباء تدخل إلى البطارية عن طريق القطب الموجب فى حالة الشحن. كما يوضح شكل (9-4 ب) دائرة التفريغ حيث يتم استهلاك الكهرباء من البطارية فى إدارة المحرك أو الإضاءة حيث يتم انتقال الكهرباء من القطب الموجب للبطارية خلال الكابلات إلى المارش فى حالة إدارة المحرك أو إلى المصابيح فى حالة الإضاءة ثم تعود الشحنة الكهربية الى القطب السالب خلال الكابلات وبذلك تكتمل الدائرة الكهربية فى البطارية. من ذلك يتضح أن الكهرباء تخرج من القطب الموجب فى حالة الاستهلاك. إما أثناء التشغيل العادى للمحرك فيعطى الدينامو التيار الكهربائى للمحرك ويتم فى نفس الوقت شحن البطارية (شكل 9-4جـ).



أ- أثناء تقويم (بدء) المحرك



ب- أثناء الحمل الكامل



جـ -أثناء التشغيل العادى

شكل (9-4): دوائر الشحن والتفريغ

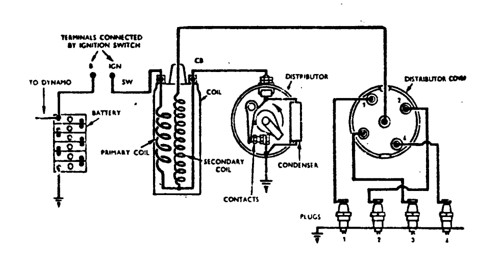
9-3-2- دائرة احداث الشرارة الكهربائية:

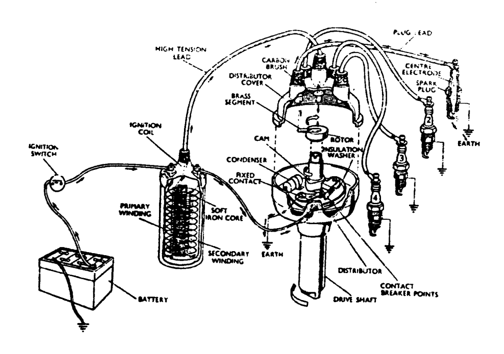
وتستعمل طريقة الإشعال الكهربائى فى محركات الغاز ومحركات الزيت الخفيف (البنزين والكيروسين). وفيها يعتمد على شرارة كهربائية لاشعال الشحنة فى مشوار التشغيل. وتحدث الشرارة بين قطبى شمعة كهربائية يمتد طرفها داخل غرفة ويمر بها تيار كهربائى ليعبر الثغرة التى بين قطبى الشمعة لتتم الدائرة الكهربائية فتحدث الشرارة وتشتعل الشحنة المنضغطة. ويكون مصدر التيار الكهربائى المستعمل لحدوث الشرارة من بطاريات أو من مولدات. هناك نظامان للإشعال بالشرارة الكهربائية، نظام ذا فولت عالى وآخر ذا فولت منخفض. يوضح شكل (9-5) دائرة إحداث الشرارة الكهربائية وتتكون هذه الدائرة من:

1- ملف (بوبينة) الإشعال *(High-Tension Coil)*

يعتبر نظام الإشعال بالبطارية وملف الأشعال متفقا عليه حاليا كنظام قياس للإشعال للمحركات ويتحول التيار الكهربائى المنخفض الجهد الخارج من البطارية كنظام معين أو المولد الكهربائى إلى تيار على الجهد يتراوح جهده بين 10.000-15.000 فولت بفعل ملف الإشعال. وكما واضح بشكل (9-5) أن ملف الإشعال يتكون من الآتى:- عدة لفائف ابتدائية قليلة من السلك ملفوفة بقطر كبير. ولفائف أخرى ثانوية عديدة ملفوفة بقطر أصغر نسبيا. قلب من الحديد.

ويسرى التيار الكهربائى من البطارية خلال اللفائف الابتدائية مولدا فيها مجالا للقوة كما يحدث فى المغناطيس الكهربى. وعندما ينقطع التيار فى فترات منتظمة بفعل قاطع التلامس ينخفض مجال القوة فتنشأ فى اللفائف الثانوية نتيجة لذلك نبضات للتيار الكهربائى يتراوح جهدها ما بين 10.000-15.000 فولت. وهذه النبضات العالية الجهد تكفى لإحداث التفريغ الكهربى المطلوب عبر الكترودين شمعة الشرر.





شكل (9-5): دورة إحداث الشرارة ومكوناتها الرئيسية

2- قاطع التلامس والمكثف (الكوندنسر)

(Breaker and Condenser)

يستخدم قاطع التلامس لقطع دائرة اللفائف الابتدائية فى اللحظة التى ينبغى فيها أن تحدث الشرارة الكهربائية فى كل الإسطوانة والتى تتوقف على وضع المكبس فيها فى أثناء شوط الانضغاط. ويوصل المكثف بقاطع التلامس على التوازن لمنع حدوث تفريغ كهربائى زائد على الحد المقرب بين طرفى التلامس به وبدون المكثف يحترق طرفا التلامس (الأبلاتين) ويتآكلان بسرعة وفى وقت قصير. وعلاوة على ذلك يعمل المكثف على تقوية شرارة الإشعال حيث أنه بعيد الطاقة المختزنة بعد كل قطع لدائرة اللفائف الابتدائية. وأى عيب بالمكثف يترتب عليه عدم حدوث الشرارة عبر الكترودين شمعة الشرر أو أن تكون شدتها غير كافية لإشعال الوقود.

3- موزع (الشرارة) الإشعال (الأسبراتير) *(The Distributor)*

يتكون المحرك عادة من عدة أسطوانات وهذا يتطلب أستخدام موزع أشعال لتوزيع التيار العالى الجهد من ملف الإشعال إلى جميع شمعات الشرر فى اللحظات المحددة ويركب موزع الإشعال مع علبة قاطع التلامس مباشرة ليكونا معا مجموعة واحدة. ويحتوى غطاء موزع الإشعال على 4 أو 6 أو 8 نقط تلامس حسب عدد الإسطوانات بالمحرك يسرى عن طريقها التيار الكهربائى إلى شمعات الشرارة.

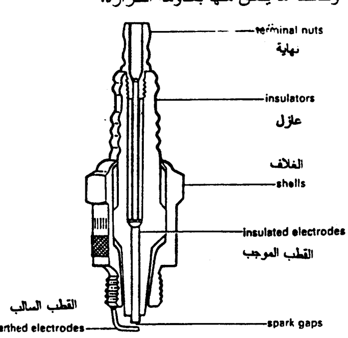
وعندما يتحرك ذراع (ريشة) التلامس ـ يسرى التيار العالى الجهد من اللفائف الثانوية لملف الإشعال إلى ذراع عضو التوزيع الدوار، وحيث أن هذه الذراع موصلة بعمود كامة قاطع التلامس فأنها تتبع حركة هذا العمود لتقفل الدوائر عن طريق نقط التلامس الموجود بغطاء الموزع فى فترات منتظمة. ويسرى التيار ذو الجهد العالى عن طريق ذراع عضو التوزيع الدوار من موزع الإشعال إلى نقط

التلامس الموجودة داخل غطاء الموزع ومنها الى شمعات الشرر عن طريق كبلات الأشعال.

4- شمعات الأحتراق (إحداث الشرارة) *Spark Pluga*

تتكون شمعة الإحتراق (البوجيهات) كما يوضح شكل (9-6) من العازل والجهد وطرف توصيل الكبل والألكترود المتوسط (المركزى)، والألكترود الأرضى (الموصل بالطرف الأرضى).

وينبغى أن يتوافر فى شمعة الشرارة اشتراطات محددة لتأدية وظيفتها، فدرجة الحرارة التى تصل إلى غرفة الاحتراق بعد الإشعال تقع بين 2000°م، 3000°م حسب نوع المحرك. كما أن الغازات المتمددة تسلط ضغطا على جدار غرفة الاحتراق ورأس المكبس ستتراوح بين 40 إلى 50 ضغط جوى، وبعد الاحتراق مباشرة ينخفض الضغط إلى 9, ضغط جوى، كما تنخفض درجة الحرارة نتيجة للهواء الجديد المسحوب أو المخاليط الجديدة المسحوبة إلى ما بين 60°م الى 150°م ومن ثم فإن الاشتراطات التى ينبغى توافرها فى أى جزء من أجزاء شمعة الشرر وأولها العازل تعتبر ملزمة وخاصة ما يتعلق منها بمقاومة الحرارة.



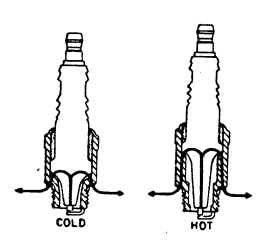
شكل (9-6): شمعة الاحتراق

وإذا أخذ فى الأعتبار أن العوامل المحددة للظروف التى تعمل فى ظلها شمعة الشرر مثل السرعة ونسبة الانضغاط ونظام التبريد تختلف بأختلاف أنواع المحركات، لذلك يتضح أنه لا توجد شمعة شرر واحدة عامة الأغراض ولهذا السبب تحدد الجهة المنتجة للمحرك أفضل نوع لشمعة الشرر يناسب محركه.

وشمعة الشرارة المحددة توائم سلوكها وفقا لدرجة حرارة تشغيل معين بصرف النظر عن الحمل المتغير للجرار، فإذا تعدت درجة الحرارة الفعلية تلك الدرجة المعينة يبدأ طرف عازل الشمعة فى التوهج متسببا فى صوت إشعال متقدم. ومن ثم يشتعل خليط الوقود والهواء بفعل الجزء الزائد السخونة من الشمعة قبل انبعاث الشرارة عبر الإلكترودين.

لكل شمعة الإشتعال ومجال درجة حرارة هو مدى القدرة على انتقال الحرارة من طرف الشمعة إلى جهاز التبريد فأحياناً تكون الشمعة بها طرف طويل يسمى Hot Plug وأحياناً طرف قصير وتسمى Cold Plug شكل (9- 7). ومن المعتاد أن المحرك الذى يعمل على السرعات العالية أو الأحمال الكبيرة يحتاج إلى شمعة من النوع Cold Plug للإسراع فى إنتقال الحرارة ولكن إذا كان المحرك يعمل على السرعات المنخفضة أو على سرعة بدون حمل Idle Speed معظم الأوقات فيجب استخدام شمعة من النوع Hot Plug ويوجد على الشمعة رقم يبين النوعية فإذا زاد الرقم يكون Hotter. ويجب استخدام الرقم الصحيح من شمعة الاشتعال مع كل محرك.

فإذا استخدمت شمعة اشتعال تعمل على Too Hot فإن الاشتعال يحدث مبكراً عن اللازم وإذا استخدمت شمعة تعمل على Too Cold فإن الفراغ بين قطبى الشمعة يمتلئ بالشوائب وتسمى Fouling.



شكل (9-7): يوضح نوعى شمعة الاحتراق

ومن ناحية أخرى يجب أن تكون الأجزاء المذكورة من شمعة الشرر ساخنة بالدرجة الكافية لحرق الزيت ومخلفات الاحتراق فإذا لم يحدث ذلك تصبح شمعة الشرر مشبعة بالزيت أو مهشمة ويفشل التيار العالى الجهد فى بعث الشرارة بإنتظام عبر ثغراتها أو تصبح الشحنة غير فعالة بالتالى تنخفض قدرة المحرك بشكل ملحوظ.

وإذا تعطلت إحدى شمعات الشرر فأنه يمكن الاستدلال على ذلك بالفرقعات التى تحدث فى ماسورة العادم وهكذا يتضح أن الأداء الصحيح الذى يعول عليه يتوقف إلى حد كبير على الأداء الصحيح لشمعات الشرر، هذا وينبغى فحص شمعة الشرر، فمظهرها يستدل منه على بعض العيوب المحددة، وإذا دار المحرك فى الظروف المعتادة وكانت شمعات الشرر تؤدى عملها على الوجه الصحيح فإن العوازل يجب أن تبدو وقد اكتسبت بلون الشيكولاته المخلوطة باللبن، كما يجب ألا

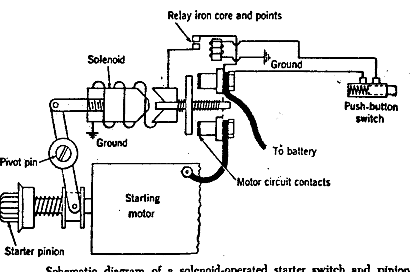
تظهر عليها أى رواسب بعد فترة طويلة من التشغيل، وتختلف على الألكترودين طبقة من الرواسب الملونة باللون الرمادى المائل إلى السواد أو اللون الأبيض المتسخ.

9-3-3- محرك بدء الأدارة "المارش" *Engine Starting Motor*

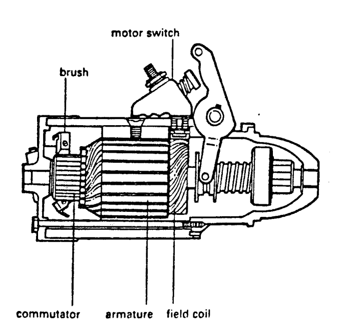
يعمل المحرك الكهربى لبدء الإدارة، شكل (9-8) على إدارة محرك تمهيدا لادارته العادية، وهو نوع خاص من محركات التيار المستمر التى تعمل على البطارية. ويركب هذا المحرك الكهربى على غطاء الحدافة.

تحتوى مجموعة بدء الإدارة على ترس يشتبك مع أسنان موجودة على الحدافة (ترس الحدافة) وبذلك حقل سرعة الحدافة بالنسبة لسرعة محرك بدء الإدارة بدرجة كبيرة (سرعة محرك بدء الإدارة = 15 مرة سرعة الحدافة) وفائدة تركيب المحرك على الحدافة هو تقليل القدرة المطلوبة، فإذا اتصل المحرك بعمود المرفق بدلا من الحدافة لأدارة المحرك فسوف يتطلب قدره تعادل 15 مرة القدرة المطلوبة لإدارة المحرك من الحدافة.

وسرعة بدء الإدارة من 2000 لفة/دقيقة، 3000 لفة/دقيقة وبذلك تكون سرعة الحدافة حوالى 200 لفة/دقيقة وهذه السرعة كافية لبدء إدارة المحرك، وعندما يدور المحرك بفعل الاحتراق داخل الإسطوانات تصبح سرعته 3000 لفة/دقيقة أو أكثر، وتصبح سرعة محرك بدء الإدارة المنقولة له من المحرك حوالى 45000 لفة/دقيقة وهذا معناه تلف محرك بدء الإدارة " المارش " مثل فصل الموصلات الكهربية أو القطع المكونة لمحد اتجاة التيار نتيجة القوة الطاردة المركزية الكبيرة فيتحطم المحرك. ولذلك استعملت أجهزة تلقائية لفصل الحركة عن الحدافة.



Schematic diagram of a solenoid-operated starter switch and pinion with push-button dash control.



شكل (9-8): محرك بدء الإدارة

يركب فى هذا الجهاز العجلة المسننة " ترس صغير " بحيث تكون حرة الحركة على " جلبة " بها قلاوظ يناسب القلاوظ الداخلى الموجود على الترس. وفى أثناء وقوف محرك بدء الإدارة يكون الترس الصغير غير معشق فى أسنان الحدافة، فإذا ما أقفل مفتاح التوصيل بدأ عضو الاستنتاج فى الحركة وتحركت تبعا لذلك الجلبة المثبتة على عمود عضو الاستنتاج بواسطة زنبرك بندكس الحلزونى. ويمنع القصور الذاتى العجلة المسننة " الترس الصغير " من الحركة بسرعة الجلبة فى نفس اللحظة وبذلك تدور الجلبة بداخل الترس الصغير كما يحدث عندما يدور مسمار مقلوظ بداخل صامولة ثابتة ونتيجة لذلك يجبر الترس الصغير على الحركة فى اتجاة الجلبة بحيث يعشق فى أسنان الحدافة، ويتصل الترس الصغير بجهاز يوقفه عند وضع معين أثناء دورانه. وعند ذلك يتحرك الترس الصغير بنفس سرعة عضو الاستنتاج جاعلا الحدافة تدور ويأخذ الياى الحلزونى الصدمة نتيجة التعشيق. وبعد أن يبدأ المحرك فى الدوران وتزيد سرعته تحرك الحدافة عمود الترس الحلزونى بسرعة أكبر من سرعة دوران عضو الاستنتاج مما ينتج عنه رجوع عمود الترس إلى الوراء ويفك التعشيق بينه وبين أسنان الحدافة أى أن عمود الترس الحلزونى يدور على الجلبة ويعمل القلاوظ الموجود على الترس الحلزونى وكذلك القلاوظ الموجود على الجلبة على رجوع عمود الترس الحلزونى إلى الخلف، (شكل 9-9).

9-4- مجموعة توزيع القدرة الكهربية:

وتشمل المجموعة الكهربائية الأشياء التالية بالإضافة إلى ماسبق.

أ- الأسلاك (الكابلات):

وتكون من النحاس المعزول وتصل الدينامو بالمجموعات المستهلكة للتيار الكهربى. ويجب ملاحظة عدم ملامسة الأسلاك الموجبة الشحنة لإطار الجرار حتى لايحدث دائرة قصر كهربائى بينهما. هذا ويستفاد من إطار الجرار كمسار موصل للتيار الكهربى أثناء رجوعه.

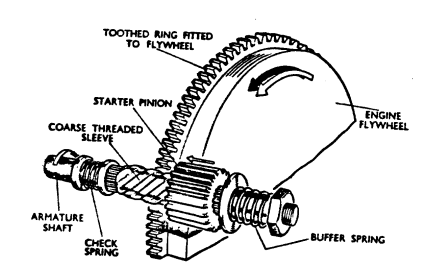
ب- المصاهر (الفيوزات):

توضع في صندوق يسمى "صندوق الفيوزات" بحيث يمكن استبدالها بسهولة. وفائدة الفيوزات يكمن في احتراق عنصر الانصهار بها عند زيادة شدة التيار الكهربائي في الدائرة عن المسموح به وهذا يؤدي إلى انقطاع الدائرة وبالتالي تلافي أي أضرار جسيمة يمكن أن تقع للمجموعات المستهلكة للتيار والأسلاك والبطارية.

جـ- معدات الإضاءة:

وتشمل المصابيح الأمامية والخلفية ولمبات الإشارات وإرشادات الإيقاف.

هـ-البوق الكهربي (الكلاكس).



شكل (9-9): ترس البندكس لنقل الحركة من المارش إلى ترس الحدافة

الباب العاشر

عناصر قياس أداء المحركات واختبارها

ENGINES PERFORMANCE PARAMETERS
& ENGINE TESTING



الباب العاشر

عناصر قياس أداء المحركات واختبارها
ENGINES PERFORMANCE PARAMETERS & ENGINE TESTING

10-1- مقدمة

يعد أداء المحرك مؤشرا لدرجة نجاح المحرك فى تحويل الطاقة الكيماوية المخزونة فى الوقود إلى شغل ميكانيكى مفيد. ولتقييم أداء المحرك هناك بعض العناصر أو ما يعرف بمعاملات الأداء ***Performance Parmeters***.

10-2- عناصر قياسات أداء المحرك

Engine Parameters

- سعة المحرك ***Engine Displacement***

تعرف سعة المحرك بأنها حجم الإزاحة الكلى للمحرك.

$$V_e = V_s.n \qquad (10-1)$$

حيث :

V_e = حجم إزاحة المحرك (سعة المحرك) سم^3 *Engine displacement* (m^3)

V_s = حجم المشوار سم^3 *stroke volume* (cm^3)

$$V_S = \frac{\pi D^2}{2}.S$$

D = قطر الإسطوانة

S = طول المشوار

n = عدد الإسطوانات *number of cylinders (-)*

– الكفاءة الحجمية *Velumetric Efficiency*

تعبر الكفاءة الحجمية للمحرك عن درجة امتلاء الإسطوانة بالشحنة *Fresh Charge* أثناء فترة السحب. فكلما زاد مقدار الشحنة الموجودة فى الإسطوانة، كلما زادت القدرة التى تنتجها الإسطوانة.

وهناك تعبيران مختلفان للدلالة على درجة الكفاءة الحجمية:

<u>**الأول**</u> : يأخذ فى الاعتبار حجم الشحنة، ويعرف بأنه النسبة بين حجم الشحنة التى تدخل فى إسطوانة المحرك أثناء شوط السحب إلى حجم مشوار المكبس " حجم المشوار.

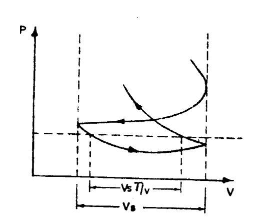
$$\eta_v = \frac{V_{ch}}{V_s} \qquad (10-2)$$

حيث :

V_{ch} = حجم الشحنة الداخلة *Volume of frech charge*

V_s = حجم المشوار *Volume of stroke*

ويوضح شكل (10 ـ 1) معنى الكفاءة الحجمية على منحنى *P - V*.



شكل (10 ـ 1) الكفاءة الحجمية على منحنى *P - V*

الثاني: يأخذ فى الاعتبار وزن الشحنة ويعرف بأنه النسبة بين وزن الشحنة التى تدخل الإسطوانة إلى وزن الشحنة الذى يملأ نفس الحجم عند ضغط ودرجة حرارة الدخول.

$$\eta_v = \frac{G_{ch}}{G_s} \qquad (10-3)$$

حيث :

G_{ch} = كمية الشحنة الفعلية التى تدخل فى الإسطوانة لدورة الحرارة الواحدة.
quality of fresh charge by mass in the cylinder

G_s = كمية الهواء التـى يمكن أن تمـلأ حجم مشـوار المكبس عند نفس درجة الحرارة وضغط الهواء المحيط،
quantity of fresh charge by mass in the volume stroke.

ويمكن تحديدها من العلاقة:

$$G_s = V_s \, \rho_a \qquad (10-4)$$

حيث

ρ_a = كثافة الهواء كجم / متر^3 *Air density* عند نفس ظروف درجة الحرارة والضغط المحيط بالمحرك.

$$G_{ch} = \frac{2\, G_o \,.\, \alpha \,.\, G_f}{N \,.\, n} \qquad (10-5)$$

حيث

G_f = معدل استهلاك الوقود كجم /ساعة *Fuel consumption*

G_o = كمية الهواء اللازمة لاحتراق الوقود *Air required for the cambustion*

N = سرعة عمود الكرنك لفة / دقيقة

n = عدد الإسطوانات.

$$G_O = \frac{2.67C + 8H - O}{0.23} \qquad (10-6)$$

C,H,O وزن الكربون والهيدروجين والأكسجين فى 1 كجم من الوقود.

α = معامل زيادة الهواء *excess air ratio* وهو النسبة بين كمية الهواء الداخلة للإسطوانة إلى كمية الهواء اللازمة للاحتراق. إذا كان α أقل من 1 يكون الخليط غنى أما إذا كان α أكبر من 1 يكون الخليط فقير ويلاحظ أن قيمة α لمحرك الديزل أكبر من محرك البنزين ويرجع ذلك إلى:

- عدم وجود وسيلة للخلط كما فى البنزين.
- الزمن اللازم للخلط 0.025 إلى 0.02 من الزمن اللازم لمحرك البنزين.

وعلى ذلك يمكن إيجاد الكفاءة الحجمية بمعرفة معامل زيادة الهواء ومعدل استهلاك الوقود على النحو التالى:

$$\eta_v = \frac{G_{ch}}{G_s} = \frac{G_{ch}}{V_s \rho_a}$$

$$\eta_v = \frac{2 G_o \alpha G_f}{N n V_s \rho_a} \qquad (10-7)$$

- **العناصر البيانية لشغل الدورة الحرارية:**

Indicated Parameters of Working Cycle

يعبر عن الشغل الناتج من الدورة الحرارية فى محركات الاحتراق الداخلى فى عدة عناصر:

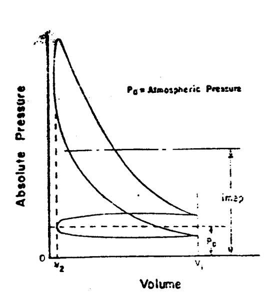
- متوسط الضغط البيانى *Mean indicated pressure*
- القدرة البيانية *Indicated power*
- الكفاءة الحرارية البيانية *Indicated efficiency*

- القدرة البيانية *(Indicated power)*

القدرة البيانية هى القدرة التى تحسب من منحنى العلاقة بين الضغط والحجم شكل (10-2) ومساحة هذا الشغل فى اتجاه عقارب الساعة (الاتجاه الموجب) يعطى الشغل الصافى فوق سطح المكبس الناتج من الدورة الحرارية الواحد لكل الإسطوانة. ويمكن استنتاج ذلك على النحو التالى:

$$Area = Pressure\ units\ (N/m^2) \times Volume\ unite\ (m^3)$$
$$= N\ .\ m = Unit\ of\ work$$

ويتوقف الزمن المبذول فيه هذا الشغل على نوع الدورة الحرارية من حيث كانت ثنائية أم رباعية الأشواط. فإذا كانت الدورة رباعية الأشواط فيكون الزمن هو زمن 2 لفه من عمود المرفق. وعليه يمكن تحديد القدرة البيانية كما يلى:



شكل (10-2): عناصر أداء المحرك على منحنى P-V

حيث أن تعريف القدرة هو معدل بذل شغل ·

$$\text{القدرة} = \frac{\text{شغل}}{\text{زمن}}$$

$$\therefore \; Power = \frac{Work}{Time}$$

$$\text{القدرة البيانية} = \frac{\text{الشغل البيانى فى الدورة الحرارية}}{\text{زمن الدورة الحرارية}}$$

$$Indicated\ Power = \frac{Work\ of\ heat\ cycle}{time\ of\ heat\ cycle}$$

زمن الدورة الحرارية

$$Time\ of\ one\ engine\ heat\ cycle = \frac{2\times 60}{N}\ \text{sec} \quad (for\ four\ stroke)$$

$$= \frac{60}{N}\ \text{sec} \quad (for\ two\ stroke) \qquad (10-8)$$

حيث:

N = سرعة عمود الكرنك (لفة/ دقيقة)

ويحسب عدد الدورات الحرارية فى الثانية من المعادلة:

$$Number\ of\ cycles = \frac{N.n}{2\times 60}\ cycle/\text{sec} \qquad (10-9)$$

على ذلك تكون القدره البيانية **I.P**

$$I.P = \frac{(IWD)\times N}{2\times 60} \frac{\times n}{\times 1000} \qquad (10-10)$$

حيث:

IWD = الشغل الناتج من الدورة الحرارية *N.m* (نيوتن متر)

indicated Work done

I.P = القدرة البيانية (كيلو وات *kW*)

وتحويل الشغل إلى حاصل ضرب قوة دفع المكبس F × طول المشوار S يمكن إيجاد القدرة البيانية من العلاقة الأتية:ـ

$$I.P = \frac{F \times S \times N \times n}{2 \times 60 \times 1000} \qquad (10-11)$$

حيث:

F = قوة دفع المكبس إلى أسفل (نيوتن)

S = طول المشوار (متر).

وهذه القوة يمكن التعويض عنها بحاصل ضرب ضغط الغازات × مساحة. ويمثل الضغط بالضغط على سطح المكبس وتمثل المساحة بمساحة سطح المكبس. وعلى ذلك يمكن إيجاد القدرة البيانية على النحو التالى:

$$I.P = \frac{P_i \times \frac{\pi D^2}{4} \times S \times N \times n}{2 \times 60 \times 1000} \qquad (10-12)$$

حيث

D = قطر الإسطوانة (متر)

P_i = متوسط الضغط البيانى الفعال (بسكال)

idicated mean effect pressure (I.m.e.p) (Pa)

وتبلغ قيمته للمحركات المختلفة على النحو التالى:

لمحرك بنزين رباعى الأشواط	0.6–1.4 ميجابسكال. *(MPa)*
لمحرك ديزل رباعى الأشواط	0.7–1.1 ميجابسكال. *(MPa)*
لمحرك ديزل ذات شاحن زائد رباعى الأشواط	حتى 2.2 ميجا بسكال *(MPa)*

ويلاحظ أن قيم محركات الديزل أقل من محركات البنزين، وهذا يرجع إلى أن محرك الديزل يعمل عند معامل زيادة الهواء مرتفع.

ويمكن حساب القدرة البيانية كدالة فى حجم المشوار أو حجم إزاحة المكبس على النحو التالى:

$$I.P = \frac{P_i \times V_s \times N \times n}{2 \times 60 \times 1000}$$

$$I.P = \frac{P_i \times V_e \times N}{2 \times 60} \qquad (10-13)$$

حيث:

V_s = حجم المشوار سم^3 *Volume of stroke (cm^3)*

V_e = حجم إزاحة المحرك ليتر *Engine displacent (liter)*

P_i = متوسط الضغط البيانى بسكال (Pa)

ويلاحظ أن جميع العلاقات السابقة للمحرك رباعى الأشواط، أما إذا كان المحرك ثنائى المشوار فإن زمن الدورة الحرارية :

$$\text{Time of Cycle} = \frac{60}{N}$$

وعلى ذلك فأنه لتطبيق المعادلات الخاصة بحساب القدرة البيانية *IP* يتم مضاعفة القيمة، بمعنى ضرب الناتج من المعادلة فى 2.

– **الكفاءة الحرارية البيانية** *(Indicated Thermal Efficiency)*

هى النسبة بين كمية الحرارة التى تتحرك إلى شغل بيانى فوق سطح المكبس إلى كمية الحرارة الناتجة من احتراق الوقود. وتستخدم الكفاءة الحرارية البيانية لبيان مدى الاستفادة من الحرارة الكلية الناتجة من الاحتراق.

$$\eta_{ith} = \frac{IP}{Fuel\ Power}$$

$$\eta_{ith} = \frac{3600 \times IP}{G_f \times F.C.V} \qquad (10-14)$$

حيث:

IP = القدرة البيانية (كيلو وات) *Indicated Power (kW)*

G_f = معدل استهلاك الوقود كجم/ ساعة. *Fuel Consumption (kg/h)*

$F.C.V$ = القيمة الحرارية للوقود كجول / كجم
Fuel Calorifice value (kJ/kg)

فى محركات السيارات والجرارات الحديثة وتحت ظروف التشغيل العادية تكون قيمة الكفاءة الحرارية البيانية على النحو التالى:

- محركات بنزين *Carburettor engines* 0.35 - 0.26
- محركات ديزل *Diesel engines* 0.50 - 0.38

- المعدل البيانى النوعى لاستهلاك الوقود (*I.S.F.C*)
Indicated Specific Fuel Consumption

هو النسبة بين معدل استهلاك الوقود G_f (كجم / ساعة) إلى القدرة البيانية IP (كيلووات) و يمكن حساب المعدل البيانى النوعى لاستهلاك الوقود من العلاقة:

$$I.S.F.C = \frac{G_f}{IP} \qquad (10-15)$$

حيث:

G_f = معدل استهلاك الوقود (كجم/ساعة) . *(kg/h)*

IP = القدرة البيانية (كيلووات) . (kW)

$I.S.F.C$ = المعدل البياني النوعي لاستهلاك الوقود $(kg/kW.h)$

وتكون قيم $I.S.F.C$ للمحركات المختلفة على النحو التالي

– محركات بنزين *235 to 370 g/(kW.h) Carburettor engines*

– محركات ديزل *170 to 230 g/(kW.h) Diesel engines*

– الفواقد الميكانيكية *Mechanical Losses*

وهي الفواقد في التغلب على كل المقاومات ضد حركة المحرك وتقدر الفواقد الميكانيكية بمقدار الضغط الميكانيكي P_m وقد وجد بالتجارب أن الفاقد الميكانيكي P_m يعتمد على السرعة المتوسطة للمكبس، وأن هناك علاقة خطية بين الفاقد الميكانيكي P_m والسرعة المتوسطة للمكبس وتختلف قيم ثوابت هذه العلاقة طبقا لنسبة بين المشوار إلى قطر الإسطوانة، وأيضا لعدد إسطوانات المحرك وذلك في محرك البنزين. أما في محركات الديزل فتعتمد ثوابت المعادلة الخطية على نوع غرفة الاحتراق. وتحسب القدرة المفقودة من المعادلة:

$$MP = \frac{P_m . V_e . N . n}{2 \times 60} \qquad (10-16)$$

حيث:

MP القدرة المفقودة ميكانيكاً (kW)

P_m الفاقد الميكانيكي (kP_a)

– متوسط الضغط الفرملي الفعال

Breake Mean Effect Pressure (b. m. e.p)

هي النسبة بين الشغل الفعال على عمود الكرنك إلى حجم الإزاحة (أنظر شكل 10–2) وكما يمكن إيجادها من الفرق بين الضغط البياني والفاقد الميكانيكي وذلك طبقاً للعلاقة:

$$Pb = Pi - Pm \qquad (10\text{-}17)$$

للمحركات ذات الشاحن الميكانيكي:

$$Pb = Pi - Pm - Ps \qquad (10\text{-}18)$$

حيث

P_s فاقد الضاغط اللازمة لإدارة الشاحنة

Supercharger drive pressure losses

عند ظروف التشغيل العادية تكون قيمة متوسط الضغط الفرملي الفعال P_b على النحو التالي:

محرك بنزين 4 إسطوانات *0.6 to 1.1 MPa*

محرك ديزل 4 إسطوانات *0.55 n 0.85 MPa*

محرك شحن زائد *up to 2.0 MPa*

– القدرة الفرملية (*Brake Power*)

وهى القدرة على عمود الكرنك وهى مستمدة من القدرة البيانية للمحرك عن طريق ذراع التوصيل ومجموعة الأجزاء المتحركة وتعرف القدره الفرملية كالآتى :

$$BP = IP - MP \qquad (10\text{-}19)$$

حيث:

MP = القدرة المفقودة فى الحركة الميكانيكية.

ويمكن حساب القدرة الفرملية من العلاقة:

$$BP = \frac{P_b \times V_s \times N \times n}{2 \times 60 \times 1000} \qquad (10\text{-}20)$$

– الكفاءة الميكانيكية *Mechanical Efficiency*

تعرف الكفاءة الميكانيكية بأنها النسبة بين القدرة الفرملية إلى القدرة البيانية.

$$\eta_m = \frac{BP}{IP}$$

$$\eta_m = \frac{P_p}{P_i} = 1 - \frac{P_m}{P_i}$$

$$= 1 - \frac{P_m}{P_i} \qquad (10-21)$$

وتعتمد الكفاءة الميكانيكية على الفاقد الميكانيكى، بزيادة الفاقد الميكانيكى تقل الكفاءة الميكانيكية. وتتراوح قيم الكفاءة الميكانيكية لمحرك البنزين من 70 إلى 90٪ ولمحرك الديزل رباعلى الأشواط من 70 إلى 82٪، لمحرك ديزل ثنائى الأشواط من 70٪ إلى 85٪.

– الكفاءة الحرارية الفرملية ***Brake Thermal Efficiency***

هى النسبة بين كمية الحرارة التى تتحول إلى شغل على عمود الكرنك إلى كمية الحرارة الناتجة من احتراق الوقود.

$$\eta_{bth} = \frac{3600\ BP}{G_f \times F.C.V} \qquad (10-22)$$

ويمكن إيجاد الكفاءة الحرارية الفرملية من العلاقة:

$$\eta_{bth} = \eta_{ith} \times \eta_m \qquad (10-23)$$

حيث:

η_m - الكفاءة الميكانيكية للمحرك.

η_{ith} - الكفاءة الحرارية البيانية

وتستخدم الكفاءة الحرارية الفرملية لبيان مدى التشغيل الاقتصادى للمحرك، والعلاقة بين الكفاءة الحرارية الفرملية η_{ith} والكفاءة الميكانيكية للمحرك.

وتبلغ قيمة الكفاءة الحرارية الفرملية لمحرك بنزين من 0.25 إلى 0.33 ولمحرك بنزين 0.35 إلى 0.40 ويرجع السبب فى ارتفاع الكفاءة الحرارية لمحرك الديزل عن البنزين إلى ارتفاع معامل زيادة الهواء، وهذا يعنى الاحتراق الكامل للوقود الديزل.

- الكفاءة النسبية:

هى النسبة بين الكفاءة الحرارية الفرملية إلى الكفاءة الحرارية البيانية للدورة المثالية:

$$\eta_{rel} = \frac{\eta_{bth}}{\eta_{th}} \qquad (10-24)$$

- المعدل الفرملى النوعى لاستهلاك الوقود B.S.F.C

(Brake Specific Fuel Consumption)

استهلاك الوقود النوعى الفرعلى (*kg/kW.h*) هو النسبة بين معدل استهلاك الوقود G_f (كجم / ساعة) إلى القدرة الفرملية BP (كيلو وات) ويمكن إيجاده من العلاقة الآتية :

$$B.S.F.C = \frac{G_f}{BP} \qquad (10-25)$$

تحت ظروف التشغيل العادية تتراوح قيمة معدل استهلاك الوقود النوعى

لمحرك الديزل *210 to 280 g/ (kW.h)*

و لمحرك البنزين *250 to 325 g/(kW.h)*

10-3- اختبار المحركات Engine Testing

هناك قياسات أساسية يجب القيام بها لتقييم أداء أى محرك وهى:
السرعة الدورانية والقدرة الفرملية والقدرة البيانية والقدرة المفقودة فى الاحتكاك ومعدل استهلاك الوقود وكذلك استهلاك الهواء واختبارات الأتزان الحرارى لمحرك ويمكن إضافة اختبارات أخرى منها تحليل غاز العادم وكثافة الدخان وقد يكون هناك بعض القياسات الأخرى الضرورية وذلك حسب الغرض من اختبار المحرك ونستعرض فيما يلى هذه القياسات.

10-3-1- قياس السرعة الدورانية:

هناك عديد من الأجهزة فى السوق لقياس السرعة منها عداد السرعة الميكانيكى وعداد السرعة الرقمى وعداد السرعة الكهربائى وهناك عدد كبير من المحركات تحتوى على عداد للسرعة والمقصود بالسرعة الدورانية هى قياس عدد دورات فى فترة زمن معينة.

10-3-2 قياس القدرة الفرملية:

- كما أوضحنا أن القدرة الفرملية *Brake Power (BP)*
بأنه القدرة على عمود الكرنك بالقدرة الفرملية وهى إيجادها بقياس العزم على عمود الكرنك وسرعة دوران عمود الكرنك والتعويض فى المعادلة التالية:

$$BP = \frac{2\pi\, N T}{60 \times 1000} \qquad (10-26)$$

حيث

T العزم على عمود الكرنك Engine Torque (N. m)

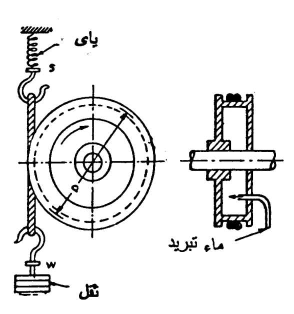
N سرعة عمود الكرنك Engine speed (r.p.m)

وقياس القدرة الفرملية من أكثر القياسات أهمية عند قياس أداء أى محرك. ويتضمن قياس القدرة الفرملية إيجاد العزم والسرعة الزاوية لعمود الكرنك. ويستخدم لذلك جهاز يعرف بالديناموميتر Dynamometer

ويمكن تصنيف هذه الأجهزة إلى فرملية او ذراع الشد، اعتماداً على كيفية تطبيق الشغل كما قد تصنف إلى أجهزة رصد أو أجهزة نقل حسب كيفية تخليص الطاقة. وفيما يلى شرح لأجهزة وطرق قياس القدرة الفرملية.

أ- فرملة الحبال (فرملة روب) (Rope Brake)

فرملة الحبال أو فرملة روب من أول الطرق المستخدمة فى قياس القدرة الفرملية وهى عبارة عن حبل يلف حول طارة قطرها d مثبتة على حدافة المحرك Flywheel أو على طارة مثبتة فيها ويمسك طرف الحبل فى زنبرك S والطرف الآخر توضع فيه الأثقال W كما فى شكل (10-3).



شكل (10-3): فرملة روب Rope Brake

حينما تكون سرعة المحرك ثابتة يكون الازدواج الذى يعطيه المحرك T_B مساويا للازدواج الناتج عن التحميل T_E ومضادا فى الأتجاه.

بقراءة S, W بالنيوتن وبمعرفة قيمة D بالمتر وعدد لفات المحرك (لفة/دقيقة)، وتحسب القدرة الفرملية بالكيلووات من العلاقة الآتية:

$$BP = \frac{(W-S)\,(D/2)}{1000} \cdot \frac{2\pi N}{60} \qquad (10-27)$$

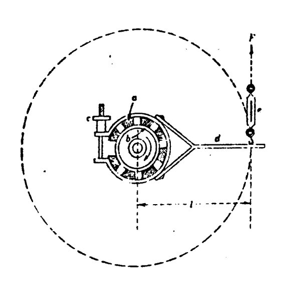
ونظرا لأن الحبال تكون عرضة للتلف فأنه يتم تعديل هذه الطريقة باستخدام طريقة برونى (Prony Brake)

ب- ديناموميتر إمتصاصى - فرملة برونى:

(Absorption Dynamometer - Prony Brake)

هذا النوع يقيس القدرة وفى نفس الوقت يحولها إلى شكل آخر من الطاقة، غالباً حرارية. وفرملة برونى من أقدم أشكال ديناموميتر الامتصاص وهو مبين فى الشكل (10-4).

يتكون هذا الجهاز من قطع خشبية *(a)* يمكنها أن تمسك بشدة أو بخفة حول بكرة المحرك *(b)* بواسطة العجلة اليدوية *(c)*. عندما يدور السهم باتجاه السهم المبين، يضغط ذراع العتلة *(d)* على المقياس *(e)* حتى يمكن أخذ القراءة *(F)* منه.



شكل(10-4) فرملة برونى Prony Brake

إن فهم وإستيعاب فكرة عمل فرملة برونى يعتبر ضرورياً لفهم كل أجهزة الدينامومتر تقريباً. لو فرض أن العجلة *(b)* فرملة وأن الاحتكاك أمكن توليده بواسطة العجلة اليدوية *(C)* وإذا كانت هناك قوة مقدارها F تبذل على الذراع *(d)* الذى يسمح له بالدوران دورة واحدة على طول الخط المنقط، فإن الشغل المنجز لكل دورة واحدة يساوى *(F)* مضروباً فى المسافة $(2\pi L)$. والآن نفرض أن الذراع *(d)* ثابت والعجلة *(b)* دارت بلفة واحدة داخل الكتل الخشبية، فإن الشغل الناتج فى أى حالة سيكون هو الشغل الضرورى للتغلب على الاحتكاك بين الكتل الخشبية والعجلة وبالتالى فإن الشغل فى الحالة الثانية سيكون أيضاً $(2\pi LF)$ وإذا دارت العجلة *(N)* من الدورات فى الدقيقة فإن الشغل الناتج سيكون $(2\pi LFN)$ أو أن القدرة تساوى:

$$BP=\frac{2\pi\ F\ L\ N}{60.000}\quad kW \qquad (10-28)$$

ويمكن قياس عزم الدوران بواسطة فرملة وبنفس الدينامومتر. وفى المعادلة السابقة عزم الدوران يساوى *(F.L)* وبالتالى:

$$BP = \frac{2\pi N T}{60.000} \qquad (10-29)$$

حيث (T) = عزم الدوران نيوتن. متر

فرملة برونى غير مناسب بصورة كلية لإيجاد قيم القدرة مقابل قيم السرعة لمحرك الاحتراق الداخلى نظراً لأن منحنيات عزم الدوران مقابل السرعة للفرامل والمحرك متساوية تقريباً وبالتالى فإن السيطرة على السرعة تكون ضعيفة. وبالاستعمال الدقيق يتوقع لفرملة برونى أن تقيس قدرة مع خطأ لايتجاوز الـ1٪.

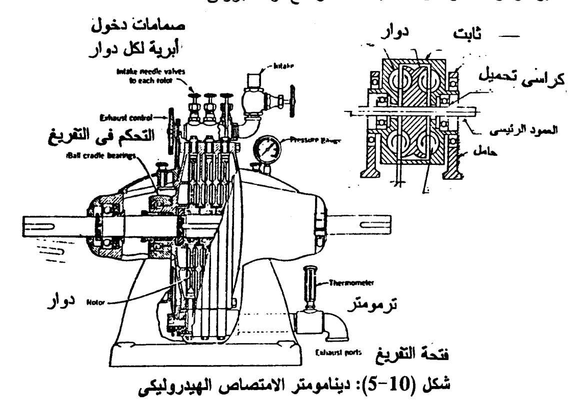
جـ- دينامومتر الامتصاص الهيدروليكى:

(Absorption Dynamometer - Hydraulic)

الدينامومتر الهيدروليكى ويعرف أيضاً Froude Dynamometer ويتكون الدينامومتر الهيدروليكى (شكل 10-5) من طارة داخلية بجانبها تجاويف منفصلة بعمود المحرك (المراد قياس قدرته الفرملية) تدور معه بنفس سرعته، وعلى جانبى الطارة الداخلية طارتان أخريتان بهما تجاويف متقابلة مع تجاويف الطارة الداخلية. وهاتان الطارتان متصلتان ببعضهما. حينما يمر الماء فى الجهاز، يندفع إلى فجوات الطارة الساحبة بفعل قوة الطرد المركزية ثم يتجه بسرعة كبيرة إلى التجاويف المتقابلة معه فى الطارة المسحوبة بقوة اندفاع كبيرة تؤدى إلى دورانه فى نفس الاتجاه. وبواسطة حاجزين (Stops) يمكن وقف الذراع المتصل بجسم الطارتين الخارجيتين على الدوران وبواسطة تحميل طرفه بالحمل W وشد الطرف بزنبرك قوته S يمكن إعادته الى وضعه الأصلى. ويكون العزم يساوى (W - S).

إذا استثنينا الأحتكاك فى كراسى التحميل، فإن عزم الدوران المنتج يساوى عزم الدوران المبذول علـى الدينـاموتر إن قابلية امتصاص القدرة لتصميم معين تتناسب طردياً مع مكعب سرعة الدوران ومع الأس الخامس للقطر ومعادلة القدرة الحصانية هى نفسها فى حالة فرملة بروني.

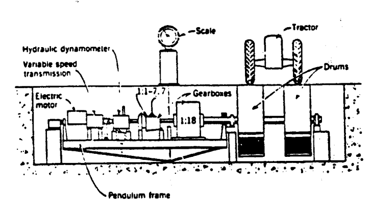
إن دقة الدينامومتر ذو الفرملة الهيدروليكية يمكن توقعها أن تكون أفضل إلى حد ما من فرملة بروني، وتقع هذه الدقة بين فرملة بروني ودقة الدينـامومتر المتأرجح الكهربى ***(Cradled eledtric)***. مقدار الخطأ فى هذا النوع حوالى 0.05 وبما أن عزم الدوران على الدينامومتر الكهربائى يزداد مع مكعب السرعة، فيكون من الأفضل إجراء الاختبار مع فتحة كاملة للوقود ويتم التحكم فى السرعة بواسطة الحمل. كذلك فإن خطر دوران المحرك الغير مسيطر عليه ***(Running away)*** غير موجود هنا والذى دائماً يشكل خطراً مع فرملة بروني.



شكل (10-5): دينامومتر الامتصاص الهيدروليكى

د- ديناموميتر الهيكل (Chassis Dynamometer)

يستخدم الديناموميتر الهيكلي عندما يراد فحص المركبة- سيارة أو جرار بصورة كاملة بمعنى اختبار المحرك أثناء وجود المركبة، ويوضح شكل (10-6) الديناموميتر الهيكلي. وعند استخدامه توضع العجلات الخلفية على إسطوانة ثم يدار المحرك وتعشق مجموعة نقل الحركة. وحينئذ تدار الإسطوانة بالمحرك وتتصل هذه الإسطوانة بالديناموميتر لقياس القدرة الناتجة من المحرك. وقد أصبح استعمال ديناموميتر الهيكل أكثر شيوعا فى محيط خدمة السيارات، لأنه يمكن إعطاء تقرير سريع جدا عن حالة المحرك (بقياس إنتاج المحرك عند سرعات وأحمال متنوعة). كما أنه مفيد أيضا فى إختبار وضبط مجموعات نقل الحركة.



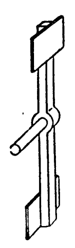
شكل (10-6): دينامومتر الهيكل

وفى الغالب يحدث اختلاف بين نتائج ديناموميتر الهيكل والنتائج المعلن عنها من المنتج للمحرك حيث تقل القدرة الناتجة من المحرك عند اختباره بديناموميتر الهيكل عن الاختبارات الأخرى، ويرجع ذلك بسبب أنه عند القياس بديناموميتر الهيكل يحدث فقدان للقدرة نتيجة الاحتكاك فى مجموعة نقل الحركة والمحاور الخلفية. والاختلاف الآخر يرجع لاختلاف العوامل الجوية من درجات حرارة وضغط الهواء. فعندما تكون العوامل الأخرى متساوية سيرتفع إنتاج قدرة المحرك مع أرتفاع الضغط، وسينخفض مع زيادة درجة الحرارة (فى حدود معينة).

هـ- ديناموميتر الامتصاص ذو الفرملة الهوائية:

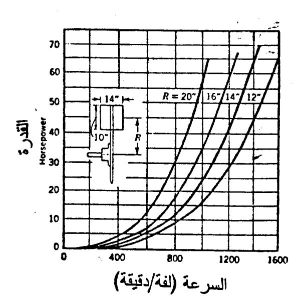
(Absorption Dynamometer Air Brake)

ديناموميتر الفرامل الهوائية شكل (10-7) يفيد فقط فى حالة تحميل المحركات لأغراض تليين المحرك والاختبارات التقريبية عند السرعة العالية نسبياً. القدرة التى تنتقل إلى الهواء بواسطة المروحة تعتمد على حجم الريش وبعدها عن مركز الدوران. الخطأ المحتمل هنا قد يكون فى حدود 20٪ نظراً لأن الفرامل يتأثر بدرجة حرارة وضغط الهواء.



شكل (10-7): ديناموميتر الامتصاص ذو الفرملة الهوائية

وبتوقيع السرعة على المنحنى المبين شكل (10-8) يمكن الحصول على القدرة حيث يمكن يكون المنحنى السابق علاقة بين سرعة الهواء والقدرة الناتجة بحجم ريشة معين ولأبعاد مختلفة لمركز الدوران.



شكل(10-8): منحنى معايرة الفرملة الهوائية

و- الديناموميترات الكهربائية ذات التيار المستمر:

(Electric Direct Current Dynamometers)

يوجد نوعان رئيسيان من هذا النوع الأول عبارة عن مولد كهربائى بسيط وتقاس القدرة بقياس الكهرباء الناتج من المولد والثانى المتأرجح المعلق الذى يكون فيه إطار المجال الكهربائى معلق على موازين أثقال مناسبة.

فى حالة ربط محرك بمولد كهربائى، يمكن قياس القدرة بصورة صحيحة إذا عرفت كفاءة ذلك المولد وذلك عند سرعة معينة. والقدرة الحصانية الداخلة للمولدات ذات التيار المستمر هى:

$$BP = \frac{I \times V}{.746 \times \eta} \qquad (10-30)$$

حيث

V = فرق الجهد فولت

I = التيار أمبير

η = كفاءة المحرك

الدينامومتر المتأرجح المعلق ذو التيار المستمر عبارة عن مولد كهربائى موصل على التوازى ***(Shunt - wound Gznerator)*** مع مجال ذى إثارة منفصلة يكون فيه إطار المجال الكهربائى حر الحركة. وبما أن جهد يبذل لتدوير عضو الإنتاج ***(Armature)*** يسبب فى تدوير المجال المغناطيسى، فإن عزم الدوران الناتج عن هذا سوف يعمل على تسجيل قوة ما على المقياس. الدقة هنا مستقلة عن الكفاءة الكهربائية للآلة وتكون فى حدود 0.25٪. هذا النوع يمكن أن ينظم ليعمل كمحرك كهربائى وفى أى ترتيب، القدرة الحصانية الداخلة إلى أو الناتجة من الوحدة هى:

$$BP = \frac{2\pi IFN}{60000} \qquad (10-31)$$

10-3-3 قياس القدرة البيانية والقدرة المفقودة فى الاحتكاك

- القدرة البيانية (IP) (Indicated Power)

تعرف القدرة البيانية IP بالقدرة فوق سطح المكبس ويتم قياس القدرة البيانية بواسطة جهاز يقوم بقياس تغيرات الضغط داخل الإسطوانة خلال الدورة الحرارية **ويعمل الجهاز على رسما بيانيا لهذه الضغوط وتنسبها لوضع المكبس فى** الإسطوانة.

ولا يستخدم الرسم البيانى " المخطط البيانى Indicator diagram لإيجاد القدرة البيانية فقط ولكنة يستخدم أيضا لدراسة ظاهرة الاحتراق فى المحرك ومشاكل السحب وخروج العادم وتخلف الاشتعال.. إلخ.

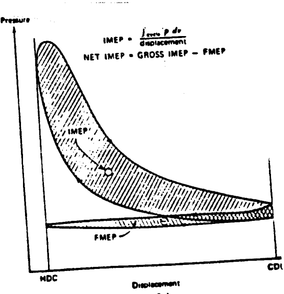
وهناك نوعان رئيسيان من المخططات البيانية يمكن الحصول عليها وهما:

أ- مخطط الضغط - الحجم (P - V)

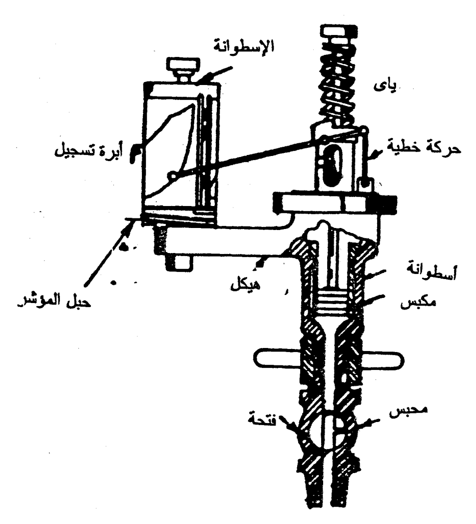
ب- مخطط الضغط - زاوية المرفق (P- ϕ)

ويعتبر مخطط الضغط زاوية المرفق P-ϕ أكثر أهمية من مخطط الضغط والحجم (P - V). ومن الرسم البيانى يمكن تعيين مقدار الشغل البيانى. وذلك بحسب المساحة الموجبة بالشكل (10-9).

ويتكون جهاز القدرة البيانية من جهاز لقياس الضغط وآخر لتسجيل إزاحة المحرك أو زاوية المحرك خلال دورة كاملة ثم وسيلة لتوقيع الضغط والإزاحة على ورقة أو على شاشة ويوضح شكل (10-10) جهاز توقيع التغير فى الضغط وإزاحة المحرك والذى يعرف بمؤشر المكبس.



شكل (10-9): المخطط البيانى



شكل (10-10) جهاز توقيع التغير فى الضغط وإزاحة المحرك

10-3-4- قياس القدرة المفقودة فى الاحتكاك (MP) (Friction Power)

تعد القدرة المفقودة فى الاحتكاك حلقة الوصل بين القدرة الفرملية والقدرة البيانية للمحرك وهى تمثل الفرق بين القدرة البيانية والقدرة الفرملية.

$$MP = IP - BP \qquad (10-32)$$

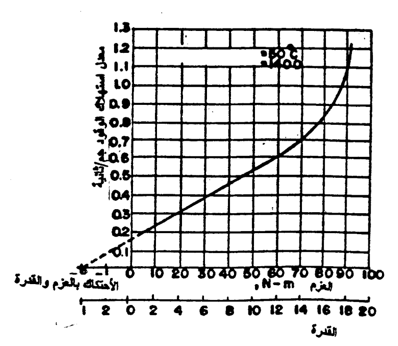
وللاحتكاك تأثير كبير على أداء المحرك. إذ أن الفرق بين المحرك الجيد والمحرك السيئ يعود إلى أختلاف في فواقد الاحتكاك فيهما. ويؤثر الفاقد في الاحتكاك على حجم نظام التبريد اللازم للمحرك. فالاحتكاك الأقل دليل على وجود قدرة فرملية أكبر وبالتالى فأن أستهلاك الوقود النوعى الفرملى يكون أقل. أن الاقتصاد فى الوقود مهم لأنه هو الذى يحدد السرعة التى يستغل فيها المحرك بصورة اقتصادية يزداد استهلاك الوقود النوعى الفرملى بزيادة السرعة. لذا فإن الاحتكاك يلعب دورا مهما فى تحديد الحد الأقصى لقدرة المحرك التى يمكن الحصول عليها بصورة اقتصادية.

توجد طريقة نموذجية لحساب القدرة الاحتكاكية. وتتلخص هذه الطريقة بأن تحسب القدرة البيانية (IP) من المخطط البيانى. وتحسب القدرة الفرملية (BP) بواسطة الديناموميتر، والفرق بين IP, BP يمثل القدرة المفقودة فى الاحتكاك. أن الطريقة أعلاه تستخدم فقط فى مختبرات الأبحاث وعلى نطاق تجارى محدود جدا وذلك لصعوبة الحصول على مخططات بيانية دقيقة وخصوصا للمحركات ذات السرعة العالية. وتعتبر هذه الطريقة من أدق الطرق المستخدمة لحساب القدرة المفقودة فى الأحتكاك.

ويمكن إيجاد القدرة المفقودة فى الاحتكاك للمحرك بالطرق الآتية:

أ- طريقة خط ولن (Willan's Line)

فى هذه الطريقة يتم رسم استهلاك الوقود كدالة للقدرة الفرملية عند سرعة ثابتة. ومن ثم يستكمل المنحنى إلى استهلاك الوقود الصغرى، شكل (10-11) والنقطة التى يقع فيها المنحنى محور القدرة البيانية تعد مؤشرا للقدرة الاحتكاكية للمحرك عند السرعة الثابتة أعلاه. أن مقدار الشغل السالب هو حاصل جمع لفاقد الأحتكاك الميكانيكى، بالإضافة إلى الخسارة الناتجة عن تسرب غاز الاحتراق. **يقتصر أجراء الفحص أعلاه على محركات الاشتعال بالأنضغاط فقط.**



شكل (10-11): طريقة خط ولن لتعيين الفاقد فى الاحتكاك

أن مقدار الخطأ فى تحديد الاتجاه يكون كبيرا بسبب عدم استقامة المنحنى، ويوضح تغير الميل على طول المنحنى الكفاءات الجزئية لزيادة الوقود. أن تغير ميل الخط بالقرب من الحمل الكامل يعكس تأثير نسبة الهواء إلى الوقود ونوعية الاحتراق - وبصورة مشابهة هناك أنحناء طفيف فى الخط عند الأحمال الخفيفة. بسبب صعوبة الحقن بكميات صغيرة جدا من الوقود بدقة لكل دورة. لذلك لابد أن تكون عملية استكمال الخط مصحوبة بعناية كبيرة وأخذ أكبر عدد ممكن من القراءات عند الأحمال الخفيفة وبذلك نحصل على منحنى حقيقى.

أن خـط (Willan) بالنسـبة لمحركـات الاشـتعال بالانضغـاط ذات غرفـة الاحتراق الدواميـة يكـون أكثر استقامة مقارنـة مـع المحـرك ذى الحقن المباشـر. وباستخدام هذه الطريقة نحصل على دقة جيدة.

ب- فحص مورس (Morse Test)

يمكن تطبيق هذه الطريقة فـى المحركـات المتعـددة الاسـطوانات فقـط. وفـى هذه الطريقـة يتـم تشـغيل المحـرك عنـد السـرعة المطلوبـة، ومـن ثـم تقـاس إنتاجيـة المحرك. وبعد ذلك يتم ايقاف مشاركة إحدى الإسطوانات عن إعطاء قدرة وذلك عن طريق عمل دائرة قصيرة على الشمعة أو فصل الرشاش ويتم قياس إنتاجية المحـرك مع بقاء السرعة ثابتة على قيمته الأولية. أن مقدار الفرق بين الإنتاجيتين يمثل القدرة البيانية للإسطوانة التـى تـم إيقافهـا. وبنفـس الطريقـة يتـم إيجـاد القـدرة البيانيـة لكـل إسطوانة. وبجمـع القـدرة البيانيـة لكل الإسـطوانات نحصـل علـى القـدرة البيانيـة للمحرك.

النتـائج المتحصـل عليهـا باسـتخدام هـذه الطريقـة دقيقـة إلـى حـد مـا ولكنهـا عرضة للخطأ نتيجة لتغيرات توزيع الخليط والظروف عند قطع إحدى الإسطوانات. كما أنه لا يوضع فى الاعتبار التغيرات التى تحدث أثناء تبريد المحرك فى محركات البنزين التى تحتوى على ماسورة مشتركة لإسطوانتين أو أكثر. يتغير توزيع الخليط وكذلك الكفاءة الحجمية عند ايقاف أحدى الإسطوانات. بالإضافة إلى هذا فـإن معظم المحركات تحتوى على ماسـورة عـادم مشـترك لجميـع الإسـطوانات، لـذا فـإن قطـع إسطوانة واحدة عن العمل قد يؤثر تأثيراً كبيراً على دفـع العـادم وبالتـالى تغير أداء المحرك بسبب تعرضه إلى ضغوط خلفية مختلفة. وتعتبر طريقة خط ولـن وطريقة مورس من الطرق الرخيصة جدا والسهلة الإنجاز.

جـ- فحص المولد:

فى هذا الفحص يتم تشغيل المحرك بقدرته الذاتية إلى السرعة المطلوبة ومن ثم يبقى المحرك لبعض الوقت تحت هذه السرعة وعند ظروف حمل معينة بحيث تصل درجة حرارة الزيت والماء ومكونات المحرك إلى درجة حرارة مستقرة. يتم امتصاص قدرة المحرك خلال الفترة اعلاه باستخدام ديناموميتر كهربائى ذى المجال المتأرجح بأعتباره أكثر الأنواع ملائمة لهذا الفحص بعد ذلك يقطع تجهيز الوقود ويتم تحويل عمل الديناموميتر إلى مولد (بأستخدام بعض التوصيلات الكهربائية) ويقوم المولد بأدارة المحرك بنفس السرعة التى كان يدور بها قبل قطع تجهيز الوقود وتقاس القدرة المجهزة إلى المولد وهى تساوى القدرة الفرملية للمحرك أثناء فحص المولد بقطع تجهيز الماء للمحافظة على درجة حرارة المحرك الفعلية. إن استخدام فحص المولد لإيجاد القدرة الفرملية للمحرك فى ظروف درجات حرارة قريبة جداً من درجات الحرارة الفعلية أثناء التشغيل وعند سرعة وحمل معينيين لا يعطى الفواقد الفعلية للمحرك تحت ظروف التشغيل الفعلية للأسباب الأتية:

أ- أن درجة حرارة المحرك عند تدويره بواسطة محرك كهربائى تختلف عن درجة حرارة المحرك عند دورانه بسبب الاحتراق حتى فى حالة قطع تجهيز دورة المياه وذلك نتيجة لتبريد الإسطوانة بالهواء الداخل وهذا يقلل من درجة حرارة زيت التزييت ويزيد من الاحتكاك وبالتالى زيادة لزوجة الزيت.

ب- الضغط المؤثر على كراسى التحميل وشنابر المكبس أقل من ضغط الناتج عن الاحتراق. كما يوجد حمل أقل على ذراع التوصيل.

جـ- الخلوص بين المكبس وجدران الإسطوانة أكبر (نتيجة للتبريد) وهذا يقلل من احتكاك المكبس.

د- درجة حرارة الهواء الداخل أقل بالمقارنة مع ذلك عند دوران المحرك بسبب الأحتراق وذلك نتيجة لعدم أكتساب الهواء الداخل الحرارة من الإسطوانة (وهى

تشكل خسارة حرارية للإسطوانة). وهذا يجعل خط التمدد أقل من خط الأنضغاط على مخطط الحجم- الضغط P - V . يتم حساب هذه الفاقد في المخطط البياني.

هـ- ارتداد الضغط أثناء شوط العادم يكون أكثر لأنه عند تشغيل المحرك بواسطة محرك كهربائي لا يوجد هناك فرق في ضغط كاف لأن يمنح الغازات الطاقة الحركية الضرورية لطردها من العادم.

أن النتائج المتحصل عليها باستخدام طريقة المولد جيدة وهي ملائمة جدا لإيجاد الخسائر الناجمة عن مكونات المحرك المختلفة.

يمكن إيجاد الفواقد التي تسببها مكونات المحرك المختلفة وذلك عن طريق سلسلة من العمليات المتتابعة. وكخطوة أولى تتم إدارة المحرك بصورة كهربائية. ومن ثم يفكك المحرك بالتتابع مع بقاء دوران الماء والزيت. وبعد ذلك يزال رأس الإسطوانة ويحسب مقدار فاقد الانضغاط. (الفرق في الضغط قبل وبعد إزالة راس الإسطوانة). وبنفس الأسلوب يمكن إزالة شنابر المكبس ومن ثم المكبس.. إلخ- من أجل تقييم تأثير هذه الأجزاء على الاحتكاك الكلي. وتعطي طريقة المولد نظرة جيدة جدا للأسباب المختلفة المسببة للفواقد.

10-3-5- قياس استهلاك الوقود (Fuel Consumption)

تعتبر عملية قياس استهلاك الوقود مهمة جداً في اختبار المحرك ويبدو من الوهلة الأولى أن عملية قياس استهلاك الوقود بصورة دقيقة عملية بسيطة وسهلة ولكنها في الواقع غير ذلك بسبب ارتفاع درجة حرارة المحرك تتكون فقاقيع داخل خط الوقود مما يزيد حجم الوقود وأيضاً لرجوع جزء من الوقود بعد عملية القياس إلى خزان الوقود مرة أخرى عن طريق ماسورة الفاقد.

يقاس استهلاك الوقود باستخدام أنبوبة زجاجية مدرجة وصمام ثلاثى Ways cock مع ساعة توقيت Stop watch. فإذا كان حجم الوقود المستهلك V مع زمن T وكثافته P فإن:

$$F = \frac{V \cdot \rho}{T} \quad kg/h$$

وأحيانا يستخدم الميزان لقياس الوزن المستهلك G فى زمن T وتصبح:

$$F = \frac{G}{T} \quad kg/h$$

ويتوفر فى محطات الاختبار أجهزة لقياس استهلاك الوقود يمكن أستخدامها مع المحرك لتحديد وزن أو كم الوقود المستهلك.

10-3-6- أجهزة قياس استهلاك الهواء (Air Consumption)

إن قياس كمية الهواء مهمة جداً فى اختبار أداء المحرك وهناك طرق مختلفة تستخدم لهذا الغرض.

أ- بواسطة فتحة قياس (Orifice Meter)

توضع فتحة القياس قبل دخول الهواء إلى المحرك، متصل بأنبوبة السحب، ويمكن قياس الضغط قبل وبعد الفتحة. وبهذه الطريقة يمكن حساب استهلاك الهواء من العلاقة الآتية:

$$A = Const.\,\rho_a \frac{\pi}{4}\, d^2 \sqrt{2g \frac{\Delta h.\,\rho_{Hg}}{\rho_a}}$$

Where:

- A Air consumption kg /h
- ρ_a Air density kg / m^3
- d Orifice diam.
- Δh Pressure drop across orifice
- ρ_{Hg} Mercury density

ب- بواسطة بوق قياس (Venturie) .

وذلك يمكن وضع الفنشورى Venturie عند مدخل أنبوبة السحب، ويقاس فوق الضغط بين مقطع الأنبوبة ومقطع الخانق Throat يمكن حساب استهلاك الهواء بنفس الطريقة السابقة.

جـ- بواسطة أنينومتر (Annenometer)

وذلك بوضع ريشة مروحة Propellor blade عند مدخل أنبوبة السحب فتدور المروحة بنفس سرعة الهواء المسحوب.

وهناك طريقة تقريبية لحساب استهلاك الهواء دون قياسه، وتستخدم فى حالة تعذر إجراء التجربة. وذلك بحسابها عن طريق حجم الإسطوانة وعدد لفات المحرك. وذلك بحسابها عن طريق حجم الإسطوانة وعدد لفات المحرك. وبفرض كفاءة حجمية للمحرك.

$$A = V_S \frac{N}{2} \eta_v$$

حيث V_s حجم الإسطوانة،

N عدد اللفات للمحرك.

η_v = الجودة الحجمية (75٪ للمحركات سريعة الدوران ، 85٪ فى البطيئة).

7-3-10 قياس فاقد التبريد (Cooling Loss)

أ- التبريد بالماء

تقاس درجات حرارة الماء عند مدخل المحرك θ_i وعند الخروج θ_o وكذلك تقاس كمية الماء المارة فى زمن معين إما بواسطة عداد مياه أو بطريقة تجميع المياه فى وعاء.

$$C.\ W.\ Loss = Water\ rate\ (\theta_o - \theta_i)$$

$$C.W.L\% = \frac{C.W.Loss}{F * L.C.V} \times 100$$

ب- التبريد بالهواء

تقاس درجات حرارة الهواء قبل المحرك وبعده كذلك يقاس معدل مرور هواء التبريد عند مدخل الضاغط وبمعرفة ضغط هواء التبريد يمكن حساب كثافة الهواء ρA

$$C.A.\ Loss = A\rho_A (I_O - I_i)$$

حيث I = Air Enthalpy

$$C.A.Loss = \frac{C.A.Loss}{F * L.C.V} \times 100$$

10-3-8- جهاز إختبار غاز العادم:

(Engine Test Apparatus - Exhaust- Gas)

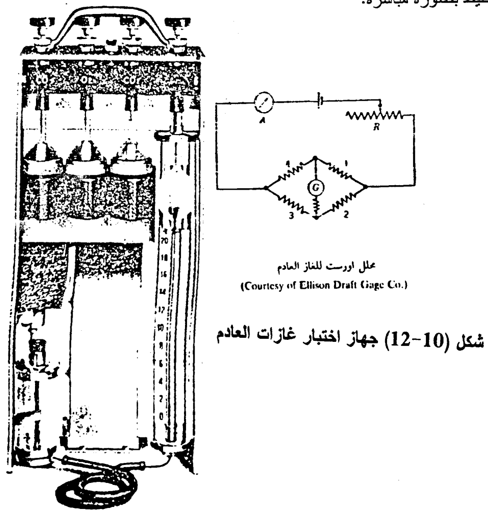
إن اختبار مركبات الغاز العادمة يعطى تحقيق مفيد لنسبة الوقود إلى الهواء للخليط. وبالتالى، لعملية الاحتراق.

لقد تبين عن الحديث عن وقود المحركات أن الوقود يتكون من الكربون والهيدروجين بينما يتكون الهواء بصورة رئيسية من النتروجين والأوكسجين. فعندما يحترق الوقود احتراقاً كلياً مع الهواء، النواتج الرئيسية ستتكون من النتروجين، الماء، ثانى أكسيد الكربون، الخليط فى المحرك الفعلى يستوى على زيادة فى الوقود أو الهواء فعندما يحترق الوقود جزئياً ينتج أول أكسيد الكربون والهيدروجين.

يوضح شكل (10-12) جهاز اختبار غازات العادم ويعمل هذا الجهاز على مبدأ قنطرة وينستون ويستعمل خاصية اختلاف التوصيل الحرارى للغازات العادمة لتغير محتوياتها من أول وثانى أكسيد الكربون. فإذا مر تيار ثابت خلال سلك

البلاتين الموضوع فى الغازات العادمة، فإن درجة حرارة هـذا السلك سوف ترتفـع حتى تتسـاوى الطاقـة الكهربائيـة المـزودة للسـلك مـع الطـاقم المفقـودة الـى الغـازات بواسطة التوصيل وهذا يعنى أن درجة حـرارة السـلك سـوف تعتمـد علـى التوصيـل الحرارى للغازات.

الأسـلاك الحلزونيـة الأربعـة المتشـابهة محصـورة فـى خلايـا منفعلـة، فـإذا احتوت خليتان 4،2 مثلاً، علـى الهـواء واحتـوت الأخرتـان علـى غـاز العـادم، فـإن الزوجين سيكونان عند درجات حرارة مختلفة ولهم مقاومات مختلفة مما يعمل على إنحراف الجلفانومتر. هذا الجلفانومتر يمكن معايرته ليبيـن النسـبة المئويـة لمركبـات الخليط بصورة مباشرة.



محلل اورست للغاز العادم
(Courtesy of Ellison Draft Gage Co.)

شكل (10-12) جهاز اختبار غازات العادم

10-4- الأتزان الحرارى للمحرك (Heat Balance)

حينما يحترق الوقود داخل إسطوانة المحرك، يتحول جزء من طاقته الكيميائية إلى طاقة ميكانيكية يستفاد بها ويعتبر ما يتبقى بعد ذلك فاقدا.

كمية الحرارة الداخلة للمحرك Q_i

$$Q_i = A.CP.TA + CW.CT_i + F.E_C$$

كمية الحرارة الخارجة من المحرك Q

$$Q_{out} = (A+F)\,CP.Tex + CW.C.To + BP + Losses$$

C = الحرارة النوعية للماء

C_P = الحرارة النوعية للهواء.

C_P = الحرارة النوعية لغازات العادم

E_C = القيمة الحرارية للوقود

$$A_{ia} + CW.T_i + FE_c = (A+F)\,i_{ex} + CW.To + BP + Losses$$

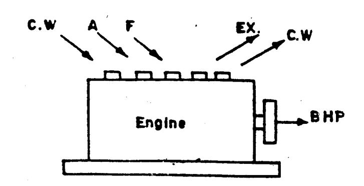
حيث:

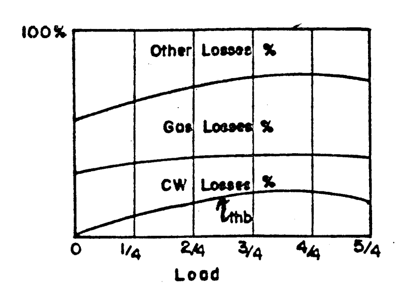
$$\therefore FE_c = BP((A+F)\,i_{ex} - A_{ia}) + CW(T_o - T_i) + Losses$$

بالقسمة على E_C

$$1 = \frac{BP}{F.E_c} + \frac{((A+F)\,i_{ex} - A_{ia})}{F.E_c} + \frac{CW(T_o - T_i)}{F.E_c} + \frac{Losses}{F.E_c}$$

وترسم المقادير المذكورة فى معادلة الاتزان الحرارى على خريطة تسمى خريطة الاتزان الحرارى Heat balance sheet للمحرك عند أحمال $\frac{1}{4}$ ، $\frac{2}{2}$ ، $\frac{3}{4}$ ، $\frac{4}{4}$ ، $\frac{5}{4}$ من الحمل الكلى كما فى شكل (10-13).





شكل (10-13): خريطة الاتزان الحرارى للمحرك

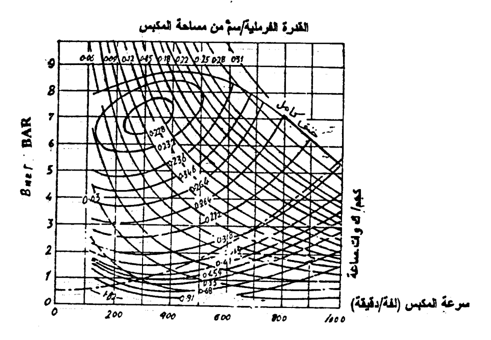
10-5- خرائط أداء المحركات (Engines Performance Maps)

يمكن تحليل أداء محرك احتراق داخلى تحت جميع ظروف الحمل والسرعة باستخدام خريطة الأداء. ويوضح شكل (10-14) خريطـة الأداء لمحـرك الاشـتعال بالشرر أما خريطة الأداء لمحرك الاشتعال بالانضغـاط ربـاعى الأشـواط ذى غرفـة احتراق مسبقة فأنها موضحة فى شكل (10-15).

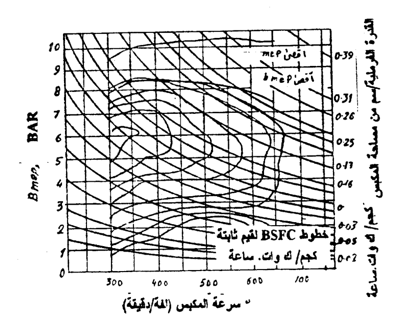
يتضمن شكل (10-14) منحنى نموذجي يمثل العلاقة بين (bmep) وسرعة المكبس وذلك عند الاشتعال على طريق مستوى وعند أعلى تحويل للسرعة. يمكن استخدام هذه الخرائط لغرض إجراء المقارنة بين محركات ذات أحجام مختلفة وذلك لتوحيد معالم الأداء عن طريق تحويل (سرعة المحرك بدلالة دورة/دقيقة) إلى سرعة المكبس والقدرة لكل وحدة مساحة من مكبس. وبصورة عامة يمكن القول بأن جميع المحركات لها منطقة يكون فيها استهلاك الوقود النوعي أقل ما يمكن (الكفاءة أعلى ما يمكن) وذلك عندما تكون سرعة المكبس منخفضة و (bmep) عالية نسبيا.

10-5-1- منحنيات معدل استهلاك الوقود (B. S .F. C- BHP)

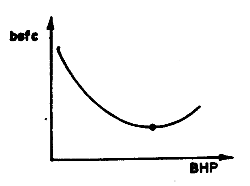
برسم هذه المنحنيات مع ثبوت السرعة يمكن تحديد مقدار الحمل الكامل الذي عنده يكون المحرك أكثر اقتصادا إذ يستهلك أقل معدل للوقود (شكل 10-16).



شكل (10-14) خريطة الأداء لمحرك الاشتعال بالشرر



شكل (10-15): خريطة الأداء لمحرك الاشتعال بالانضغاط رباعي الأشواط



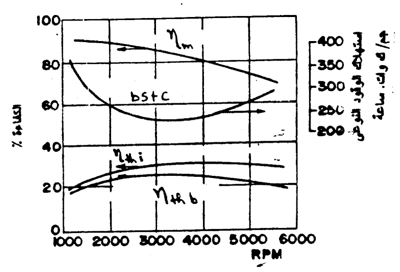
شكل (10-16): العلاقة بين القدرة ومعدل استهلاك الوقود النوعى الفرملى

التحميل الزائد للمحرك Max Power يكون فى حدود 10٪ من الحمل الكامل لمدة ساعتين، 20٪ لمدة ساعة واحدة فقط وذلك لضمان عدم حدوث تسخين زائد وإجهادات حرارية عنيفة قد تؤدى إلى كثرة

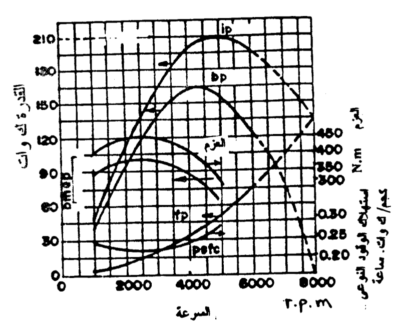
ويوضح شكل (10-17) الكفاءة الحرارية الفرملية والكفاءة الحرارية البيانية، والكفاءة الميكانيكية، واستهلاك الوقود النوعى لمحرك الاشتعال بالشرر. ويوضح شكل (10-18) القدرة البيانية والقدرة الفرملية ومتوسط الضغط الفرملى الفعال واستهلاك الوقود النوعى.

من الأشكال السابقة يمكن أن نستنتج ما يلى:

1- يتراوح مقدار التغير فى الكفاءة الحرارية الفرملية عندما يكون الخانق مفتوحا كاملا عند السرع المختلفة ما بين 20 إلى 27٪ وتكون الكفاءة أقصى ما يمكن عند مدى السرعة المتوسطة.



شكل (10-17) الكفاءة الحرارية الفرملية والكفاءة الحرارية البيانية



شكل (10-18) القدرة البيانية والقدرة الفرملية ومتوسط الضغط الفرملى الفعال واستهلاك الوقود النوعى

2- النسبة المئوية للحرارة المفقودة إلى منظومة التبريد تكون أكثر عند السرعة البطيئة (حوالى 35٪) وتقل عند السرعة العالية (حوالى 25٪) ويجب الأخذ فى الاعتبار أنه عند السرعة العالية تزداد كمية الحرارة الخارجة مع العادم.

3- عدم اعتماد العزم ومتوسط الضغط الفعال بدرجة كبيرة على سرعة المحرك. ولكنهما يعتمدان على الكفاءة الحجمية وخسائر الاحتكاك. يتطابق موقع أقصى عزم مع موقع أقصى كفاءة حجمية أو موقع الحد الأقصى لشحنة الهواء.

تقع ذروة منحنى العزم ومنحنى متوسط الضغط الفعال عند نصف مقياس القدرة تقريبا.

ملاحظة:

يتضاعف العزم عند مضاعفة حجم المحرك. أما متوسط الضغط الفعال فأنه لا يعتمد على حجم المحرك.

4- تزداد القدرة بزيادة السرعة، مضاعفة السرعة تؤدى إلى مضاعفة القدرة حتى تصل إلى أقصى قدرة.

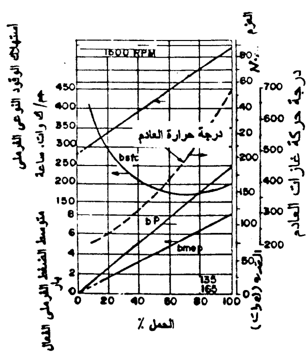
5- القدرة الاحتكاكية تكون قليلة عند السرعة المنخفضة وقيمة (dp) تكون متقاربة لقيمة (ip) وعند زيادة سرعة المحرك تزداد القدرة الاحتكاكية بمعدلات كبيرة مما يؤدى إلى وصول قيمة القدرة الفرملية إلى القمة ومن ثم تبدأ بالانخفاض حتى وإن ازدادت قيمة القدرة البيانية. وعندما تكون سرعة المحرك أعلى من معدل التشغيل الاعتيادية فإن القدرة الاحتكاكية تزداد بسرعة كبيرة، كما أن قيمة (ip) تصل إلى الحد الأقصى ومن ثم تبدأ بالانخفاض عند السرعة العالية. هناك نقطة معينة تتساوى فيها قيمة (Ip) وقيمة (fp) وبعدها تنخفض قيمة (dp) إلى الصفر.

10-5-2- أداء محركات الأشتعال بالأنضغاط

(Performance of C. I . Engines)

يوضح شكل (10-19) أداء محرك الاشتعال بالانضغاط عند السرعة الثابتة والحمل المتغير. وبما أن كفاءة محرك الاشتعال بالانضغاط أكبر من كفاءة محرك الاشتعال بالشرر. لذا فإن مجموع الخسائر تكون أقل. إن خسائر التبريد عند الأحمال المنخفضة تكون أكبر بالمقارنة مع محرك الاشتعال بالشرر. أما خسائر الاشعاع وغيرها فأنها تكون أكبر عند الأحمال العالية.

تزداد (bmep) . (pb) والعزم بصورة مباشرة بزيادة الحمل كما هو موضح فى شكل (10-19) وهى بذلك تختلف عن محرك الاشتعال بالشرر بحيث تزداد قيمة (bp) . (bmep) بصورة مستمرة ولا تتحدد إلا بالدخان. تتناسب درجة حرارة العادم طرديا مع الحمل.



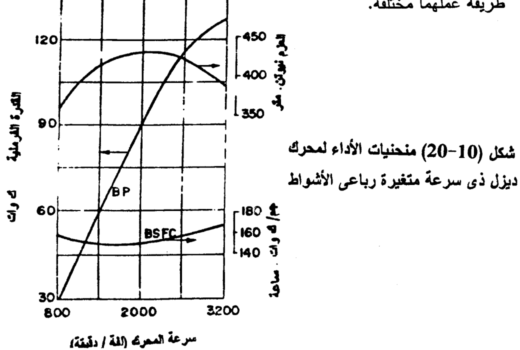
شكل (10-19) أداء محرك الأشتعال بالأنضغاط عند السرعة الثابتة والحمل المتغير

إن الحد الأدنى لأستهلاك الوقود النوعى (أعظم كفاءة) يحدث عند حوالى (80٪) من الحمل الكامل.

ويوضح شكل (10-20) منحنيات الأداء لمحرك ديزل ذى سرعة متغيرة رباعى الأشواط سعته (7850 سم3) . إن أعظم قيمة للعزم هى عند (70٪) من السرعة القصوى مقارنة بحوالى (50٪) بالنسبة لمحرك الاشتعال بالشرر. أما استهلاك الوقود النوعى الفرملى فأنه قليل خلال معظم مدى السرعة لمحرك الديزل وهو أفضل بالمقارنة مع محرك الأشتعال بالشرر.

10 - 6 مقارنة بين محركات الاشتعال بالشرارة ومحركات الاشتعال بالانضغاط

تعرضنا سابقاً للدورة الحرارية لكلا من محركات الاشتعال بالشرارة " محركات البنزين " ومحركات الاشتعال بالانضغاط " محركات الديزل "، وفى هذا الجزء سنعقد مقارنة بين كلا النوعين ومزايا وعيوب وأغراض كلا النوعين. حيث يتشابة المحركان فى أن كلا منهما من نوع محركات الاحتراق الداخلى وأيضا كلاهما يشتغل بالوقود السائل. ولكن هناك بعض الاختلافات الأساسية التى تجعل طريقة عملهما مختلفة.



شكل (10-20) منحنيات الأداء لمحرك ديزل ذى سرعة متغيرة رباعى الأشواط

10-6-1- الاختلاف بين محركات الديزل ومحركات البنزين فيما يلي:

أولا- من حيث التشغيل:

1- تعتبر دورة أوتو، الدورة المثالية لمحرك الاشتعال بالشرارة بينما تعتبر دورة الديزل أو الدورة المختلطة الدورة المثالية لمحرك الاشتعال بالانضغاط. ودورة أوتو أكفأ من دورة الديزل فى حالة تساوى نسبة الانضغاط وكمية الحرارة الداخلة لما كانت نسبة الانضغاط المستخدمة فى محركات الديزل أكبر بكثير من النسب المستخدمة فى محركات البنزين، لذلك فإن كفاءة محركات الديزل من الناحية العملية على من كفاءة محركات البنزين.

2- فى محركات الاشتعال بالشرارة يتم خليط الهواء والوقود بواسطة المغذى (الكاربيراتير) خارج إسطوانة المحرك ويدخل الخليط إلى الإسطوانة عن طريق صمام السحب ويتم أشعاله بواسطة شرارة كهربائية. ويمكن السيطرة على السرعة والحمل فى المحرك بواسطة صمام الخانق (تنظيم كمى) بمعنى أن نسبة الهواء إلى الوقود فى محرك الاشتعال بالشرارة ثابته تقريبا لكل الأحمال. فى محرك الاشتعال بالانضغاط يسحب الهواء فقط إلى غرفة الاحتراق وفى نهاية شوط الانضغاط يتم حقن الوقود ويحدث الأشتعال تلقائيا بسبب درجة الحرارة العالية الناتجة عن نسبة الأنضغاط العالية، ويحدث الاشتعال فى نقاط عديدة داخل غرفة الأحتراق فى نفس اللحظة حيث لا يوجد هناك جبهة لهب مفردة كما هو الحال فى محرك الاشتعال بالشرارة، ويتم التحكم فى السرعه والحمل فى محرك الاشتعال بالانضغاط من خلال تنظيم كمية الوقود التى تم حقنها (تنظيم نوعى) ونسبة الهواء إلى الوقود تتغير بتغير الحمل فى محرك الاشتعال بالانضغاط.

3- تزيد نسبة الانضغاط فى محركات الديزل زيادة كبيرة عنه فى محركات البنزين أو بمعنى آخر أن نسبة الانضغاط المستعملة فى محركات البنزين محدودة لأن الضغط يجرى على كل من الهواء والوقود، فلو ضغط مزيج من الهواء والوقود إلى درجة مرتفعة تزيد درجة حرارته ويشتعل ذاتيا، وربما يشتعل المزيج مبكرا

وقبل أن يتم المكبس شوط الانضغاط ويعمل على مقاومة حركة المكبس ويحاول إيقافه. وحتى أنه إذا ما زاد الضغط ، ولو قليلا من الضغط الواجب فسوف يتسبب عن ذلك حدوث الصفع، حيث يحترق جزءا من المزيج لحظيا قبل أن يصله لهب الشرارة الكهربية. وتعتمد نسبة الأنضغاط على خاصية الوقود لمنع الصفع (العدد الأوكتينى) حيث تزداد نسبة الانضغاط بزيادة العدد الأوكتينى للوقود. أما فى محركات الديزل لا تحدث ظاهرة الصفع من نسبة الانضغاط بل يؤدى ذلك إلى تقليل الطرق. واستخدام نسبة الضغط العالية فى محرك الاشتعال بالانضغاط بالمقارنة مع محرك الاشتعال بالشرارة يعد السبب فى ارتفاع الكفاءة الحرارية لمحرك الاشتعال بالأنضغاط عن محرك الاشتعال بالشرارة.

4- الحد الأقصى للضغط أعلى من محرك الاشتعال بالانضغاط عن محرك الاشتعال بالشرارة بمقدار 30٪-40٪، لذلك فإن هيكل محرك الاشتعال بالانضغاط أقوى من محرك الاشتعال بالشرارة. ولذلك لكى يتمكن من تحمل الضغوط العالية التى يتطلبها عمل المحرك مما يجعلها تدوم لفترة أطول ولكنها فى نفس الوقت تكون أثقل وأغلى ثمنا.

5- بصفة عامة فإن سرعة محركات الاشتعال بالشرارة (السولار) أعلى من سرعة محركات الاشتعال بالانضغاط.

6- الوقود المستعمل فى محركات الديزل وقودا ثقيلا بطىء التبخر عن الوقود المستعمل فى محركات البنزين. وهذا الوقود الثقيل أرخص من البنزين.

7- يعد محرك الاشتعال بالانضغاط أكثر ملاءمة للشحن الزائد *Super charging* بالمقارنة مع محرك الاشتعال بالشرارة ومحركات الطائرات وبعض محركات سباق السيارات هى محركات الاشتعال بالشرارة التى تستخدم الشحن، بينما فى محركات الاشتعال بالانضغاط يمكن استخدام الشحن فى جميع التطبيقات.

8- فى محرك الاشتعال بالشرارة المتعدد الإسطوانات تتم عملية توزيع الخليط بواسطة صمام السحب وتختلف نسبة الهواء إلى الوقود بين الإسطوانات، بمعنى

أن توزيع الوقود بين الإسطوانات غير منتظمة أما فى محركات الاشتعال بالانضغاط فإن نظام الحقن يقوم بتوزيع جيد للوقود إلى الإسطوانات.

9- الكفاءة الحرارية لمحرك الاشتعال بالانضغاط أعلى منها لمحرك الاشتعال بالشرارة بسبب نسبة الانضغاط العالية المستخدمة فى النوع الأول. وعليه فإن كمية الحرارة المفقودة من خلال غازات العادم بالنسبة لمحرك الاشتعال بالانضغاط أقل بالمقارنة بمحرك مع محرك الاشتعال بالشرارة. ولهذا السبب فإن درجة حرارة غازات العادم بالنسبة للنوع الأول قليله بالمقارنة مع النوع الثانى بالإضافة إلى وجود وفرة من الهواء فى محرك الاشتعال بالانضغاط يقلل من درجة حرارة غازات العادم *Exhaust gas temperature* .

10- تعد محركات الاشتعال بالشرارة أكثر سهولة عند بدء التشغيل *Starting* بالمقارنة مع محركات الاشتعال بالانضغاط، وذلك بسبب أن محركات الاشتعال بالانضغاط يلزمه جهد كبير لإدارة عمود الكرنك للتغلب على الضغط المرتفع، وبدء تشغيل محرك الاشتعال بالانضغاط فى الجو البارد صعب جدا بسبب انخفاض درجة حرارة الهواء الابتدائيه بالإضافة إلى أن كمية الحرارة المنتقلة إلى غرفة الاحتراق تكون كبيرة.

ثانيا- من حيث خصائص الأداء
Performance characteristics

1- محركات الاشتعال بالانضغاط أثقل مرتين أو ثلاث مرات من محركات الاشتعال بالشرارة، لذلك فمعدل الوزن لوحدة القدرة أكبر فى محركات الديزل عن محركات البنزين.

2- تعد محركات الاشتعال للانضغاط أفضل من ناحية التعجيل *Acceleration* وذلك بسبب سرعة السيطرة المباشرة على كمية حقن الوقود، أما بالنسبة لمحرك

الأشتعال بالشرارة فأنه لا يمكن السيطرة على كمية الوقود بصورة مباشرة بل أنها تعتمد على مقدار فتحة الخانق وسرعة الهواء.

3- درجة المتانة *Reliability* لكل من محركات الاشتعال بالشراره ومحركات الاشتعال بالانضغاط متساوية. وتعد محركات الاشتعال بالانضغاط أقوى وتتحمل العمل الشاق أكثر. ومعظم محركات الاشتعال بالانضغاط لا تعمل بطاقتها المتاحه بل أقل من ذلك مما يجعلها تحتفظ بقوتها لفترة أطول. ومن مشاكل محركات الاشتعال بالانضغاط فى تكلفة نظام الحقن العالية بالإضافه إلى تعقيد جهاز التحكم فى السرعة. ولكن فى محركات الاشتعال بالشرارة فإن أغلب مشاكلها هى إما بسبب الكاربراتير أو نظام الإشتعال.

4- تعتبر محركات الديزل من المحركات ذات الكفاءة العالية وبالتالى فأنها تستهلك أقل كمية من الوقود لتوليد قدرة معينة إذا ما قورنت بمحرك البنزين بمعنى أن محرك الديزل اقتصادى فى الوقود كذلك تكلفة الوقود بالنسبة لمحرك الاشتعال بالانضغاط أقل بكثير من تكلفة الوقود بالنسبة لمحرك الاشتعال بالشرارة. وذلك لقلة أستهلاك الوقود بالنسبة للنوع الأول بالإضافه إلى رخص ثمن الوقود ذاته. كما أن القيمة الحرارية لوقود الديزل أقل منه لوقود البنزين، إلا أن كثافة وقود الديزل أعلى من كثافة وقود البنزين وأن بيع الوقود يتم على أساس الحجم وليس على أساس الوزن.

5- وقود الديزل أكثر أمنا من وقود البنزين وذلك لأن وقود البنزين يتطاير بسرعة وذلك فإن أحتمال حدوث الحريق أكثر، أما وقود الديزل فهو أقل تطايرا من وقود البنزين كما أن احتمال تكوين خليط متفجر فى حالة انسكاب وقود الديزل أقل بالمقارنة مع وقود البنزين وخاصة فى الأماكن الضيقة كالسفن

ثالثاً: من حيث التكاليف COST

1- إن التكلفة الابتدائية *Initial Cost* لمحرك الاشتعال بالشرارة (تكاليف الإنتاج) دائما أقل من التكلفةالابتدائيه لمحرك الاشتعال بالانضغاط فى حالة تساوى القدرة الفرملية للمحركين. والسبب فى ذلك يعزى إلى أن محرك الاشتعال بالشرارة أخف وزنا من محرك الاشتعال بالانضغاط كما أن نظام الوقود المستخدم فيه أقل تكلفة بالمقارنة مع نظام الوقود فى محرك الاشتعال بالانضغاط، إلا أن العمر الطويل لمحرك الاشتعال بالانضغاط يمكن أن يعوض التكلفة الابتدائية العالية للمحرك وذلك لعدم أستخدام المحرك الى أقصى قدرة مما يؤدى إلى تقليل التلف والتآكل عند الاستعمال.

2- تكاليف الصيانة *Cost Maintenance* لمحرك الاشتعال بالانضغاط أعلى بكثير من تكاليف صيانة محرك الاشتعال بالشرارة وذلك لسببين: الأول هو التكاليف العالية عند استبدال أجزاء من نظام الحقن. والثانى هو ارتفاع أجور صيانة محرك الاشتعال بالانضغاط بصورة عامة عن صيانة محرك الاشتعال بالشرارة.

مزايا محرك الاشتعال بالشرارة

هناك بعض العوامل التى يجب أن تأخذ فى الاعتبار عند اختيار نوع المحرك وذلك حسب طبيعة ونوعية الاستخدام. وأهم مزايا محركات الاشتعال بالشرارة:

1- التكاليف الابتدائية قليلة.

2- وزن المحرك لقدرة معينة قليلة بالمقارنة مع محرك الديزل.

3- حجم المحرك لقدرة معينة صغيرة بالمقارنة مع محرك الديزل.

4- سهولة بدء التشغيل.

5- مستوى الضوضاء قليل.

6- كمية غازات العادم قليلة.

7 ـ يستخدم محرك الاشتعال بالشرارة بصورة واسعة جدا فى السيارات من أجل راحة الركاب. كما أنه يستخدم فى الطائرات الصغيرة لخفة وزنه. ويستخدم محرك الاشتعال بالشرارة الثنائى الأشواط بصورة واسعة جدا فى الدراجات ذات المحرك والزوارق النهرية والبحرية ومضخات الهواء وذلك بسبب بساطة المحرك وتكاليفه القليلة.

مزايا محركات الديزل:

1 – قلة الوقود المستهلك: تعتبر محركات الديزل من المحركات ذات الكفاية العالية لأنها تستهلك أقل كمية من الوقود لتوليد قدرة معينة إذا ما قورنت بغيرها من المحركات الأخرى (ما عدا التربينات البخارية الكبيرة) فكمية الوقود المستهلك تقل كثيرا عما يستهلك فى محركات البنزين وعلى ذلك فمحرك الديزل اقتصادى للغاية.

2- رخص ثمن الوقود: تستعمل محركات الديزل وقودا رخيص الثمن، إذ أن ثمنه يقل عن ثمن البنزين بكثير.

3- اقتصادية عند الأحمال الصغيرة: وهى الحالة التى تشتغل عليها المحركات معظم الوقت عندما يدور محرك ديزل محملا بنصف الحمل الكامل يستهلك زياده فى الوقود حوالى 10٪ مما يلزم لكل وحدة قدرة عند الحمل الكامل، أما جميع المحركات الأخرى فإن كفايتها تقل كثيرا عندما يخف الحمل.

4- أكثر أمنا : لأن الوقود المستعمل فى محركات الديزل غير قابل للانفجار لأن درجة اشتعاله أكبر من البنزين. وفى الحقيقة يتطلب مجهودا خاصا لاشتعاله ومثله مثل الفحم.

عيوب محركات الديزل:

1- ارتفاع الثمن: نظرا لارتفاع الضغوط العالية المستعملة لتشغيل محرك ديزل مما يدعو إلى متانة بنائها وجودة المعادن المستعملة فى صناعة أجزائها ودقة تركيبه عن محركات البنزين، لهذا فهى أغلى ثمنا.

2- ثقل وزنها: نظرا لما يتطلبه بناء المحرك من متانة كما سبق ذكر ذلك لهذا يزيد وزنها كثيرا عن محرك البنزين المعادل له فى القدرة.

3- العناية: تتطلب محركات الديزل عناية كبيرة لكل وحدة قدرة بالمقارنة بالتربينات البخارية الكبيرة.

4- الحيــز: تشغل محركات ديزل حيزا أكبر مما تشغله التربينات البخارية وذلك فى حالة القدرة الكبيرة.

ومما سبق يمكن معرفة الأسباب التى أدت إلى تفضيل محركات آخرى عن محركات الديزل لبعض الأعمال كالآتى:

(أ) الطائرات – تستعمل محركات البنزين لأنها أخف وزنا.

(ب) السيارات العادية – تستعمل محركات البنزين لرخص ثمنها.

(ج) توليد القوى الكهربية فى المدن الكبيرة – تستعمل تربينات بخارية كبيرة لقلة العناية اللازمة لها.

تقسيم محركات الديزل

Classifcation Of Diesel Engines

نود أن نوضح فى هذا الجزء أن محركات الديزل نفسها تختلف بعضها عن البعض بالنسبه للغرض المطلوبة من أجلة. وهذا الاختلاف يكون فى الوزن والسرعة والثمن ونوع الوقود وطريقة تنظيم المحرك وطريقة حقن الوقود وغير

ذلك، وسوف تدرس فيما بعد أى من هذه الصفات تكون لازمة عند استعمال محرك ما فى غرض معين مثل المحطات الثابتة لتوليد القدرة أو الجرارات أو فى السيارات أو فى السفن.

أولا- التقسيم من ناحية الأنضغاط:

أ- محركات نصف ديزل *(Simi- Diesel)*

وفيها تكون نسبة الانضغاط حوالى 10، ويلاحظ أن الوقود إذا حقن لا يستطيع أن يشتعل تلقائيا، لذلك كان من الضرورى الاعتماد على مصدر خارجى للحرارة كالمستودع الساخن مثلا *Hot bulb*، وهو معزول عن غرفة الاحتراق ولا يسرى الماء المبرد حوله كى يظل ساخنا دائما. وقبل إدارة المحرك مباشرة يلزم تسخينه بواسطة مسخن خارجي. ويلاحظ هنا أن المستودع الساخن *Hot bulb* يجب أن يظل ساخنا عند الأحمال الصغيرة والكبيرة على السواء. ولو صمم المحرك للتشغيل على الحمل الخفيف فإن المستودع يكون ساخنا جدا عند الأحمال الكبيرة ويسبب احتراقا سريعا، يؤدى إلى الدوران غير المنتظم للمحرك *Rough running* مما يجب معه تبريد المستودع برش الماء عليه أما إذا صمم المحرك للتشغيل على الأحمال الكاملة، فإن المستودع يكون أقل سخونة عند الأحمال الخفيفة وأقل كفاءة حرارية. ويعيب هذا المحرك الآتى:

1- ضرورة تنظيف غرفة الاحتراق باستمرار بسبب ترسيب حبيبات الكربون عليها.

2- غير مرن فى تشغيله، بمعنى أنه لايمكن تشغيل نفس المحرك بسهولة عند الأحمال الصغيرة والأحمال الكبيرة أيضا.

3- كبير الوزن النوعى.

وحاليا لا يصنع هذا المحرك.

ب- المحرك ذو نسبة الانضغاط المتوسطة

(Medium Compression Ratio)

يستخدم هذا المحرك بكثرة الآن. وفيها تتراوح نسبة الانضغاط بين 15 إلى 20، وبذلك يكون ضغط الشحنة داخل الإسطوانة عند بداية حقن الوقود عاليا جدا لدرجة يمكن معها إستخدام الحقن المباشر *Direct injection* وسابقا كان يستخدم الحقن بالهواء المضغوط كعامل مساعد على التذرير *Atomisation*.

ويعيب هذه الطريقة:

أنه يحدث تبريد مفاجيء *Chilling* للرشاش الساخن مما يسبب شروخا فيها، هذا فضلا عن ضرورة تزويد المحرك بضاغط هوائي يزود بالهواء المطلوب لعملية الحقن. أما عن الوقود الثقيل الذي قد يستخدم في بعض هذه المحركات، فلابد من تسخينه لتقليل لزوجته كما يلزم تنقيته من المواد الصلبة والمواد التي تسبب التآكل، وعند تسخين الوقود يجب ألا تزيد درجة حرارة التسخين عن 100°م وإلا حدث الفوران *Foaming* الذي يؤدي إلى فقد كميات كبيرة من الوقود.

جـ- المحركات ذات نسبة الانضغاط العالية

(High Compression Ratio)

وهذه المحركات سريعة الدوران، صغيرة الحجم، قطر إسطوانتها صغير ولا تتولد قوى كبيرة على سطح المكبس بسبب نسبة الانضغاط العاليه والتي تصل إلى 26. ولذلك تستخدم غرف الاحتراق المبدئي *Pre-combustion chambers*.

ثانيا- تقسيم محركات الديزل من حيث السرعة الدورانية:

أ- محركات بطيئه *(Slow Speed)*

وهى ذات أحجام كبيرة وتستخدم الوقود الثقيل، ولما كانت عملية الاحتراق تستغرق وقتا طويلا نسبيا، لذلك فإن دورتها الحرارية تكون أقرب ما يمكن إلى دورة ديزل النظرية ذات الضغط الثابت.

ب- محركات سريعة *(High Speed)*

وهى ذات أحجام صغيرة وتستخدم وقودا خفيفا نقيا وتقترب دورتها من دورة أوتو النظرية نظرا لأن زمن الاحتراق صغير جدا نسبيا.

ثالثا- من حيث الاستخدام:

أ- محركات الديزل الثابتة:

عندما تستعمل محركات الديزل فى الأغراض الثابتة - فإن المحرك يثبت على قاعدة ترتكز على الأرض مباشرة، وعلى ذلك فليس لوزن المحرك أو الحيز الذى يشغله أى اعتبار.

ب- المحركات المستديمة الإدارة:

إن من أحد الأغراض المألوفة فى استخدام محركات الديزل الثابتة هو أدارة مولدات كهربية لتوليد قدرة كهربية مستمرة إما للمنافع العامة أو للمصانع، وفى هذه الحالة يجب أن يتوافر فى المحرك المطلوب لذلك الشروط الآتية:

1- قلة الوقود المستهلك.

2- قلة نفقات الإصلاح.

3- عمر طويل وتنظيم جيد للسرعة.

والسبب فى ذلك هو أن المحرك يجب أن يدور عدة ساعات يوميا لمدة سنوات ويعول عليه لدرجة كبيرة لأن أى عطل يخل من قيمة الخدمات الهامة للقدرة الكهربية.

وحيث أن المحرك يدور مدة طويلة فأنه يستهلك كمية كبيرة من الوقود فى العام. لذلك يجب أن يكون مرتفع الكفاءة بمعنى أنه يستهلك أقل كمية من الوقود لكل وحدة قوى مولدة. وفى نهاية العام يكون الوفر فى ثمن الوقود قد بلغ مئات الجنيهات. وبالمثل بالنسبة لنفقات الإصلاح فلو أن هذا المحرك استهلكت أجزاؤه بسرعة تطلب صيانة مستمرا. ولكننا فى حاجة إلى محركات تدور مدة طويلة دون أن تتطلب إصلاحات كبيرة أو عناية فائقة. ومحركات ديزل المناسب هو المحرك المتين البطىء أو المتوسطة السرعة وذو الأجزاء ذات الحجم المناسب لعملها وذو جهاز الحقن المصمم بحيث يكون الوقود المستهلك أقل ما يمكن.

ومثل هذه المحركات تكون مزودة بمنظمات دقيقة. والمنظم عبارة عن أداة تعمل على انتظام دوران سرعة المحرك حتى فى حالة تغير الحمل (وذلك بالعمل على تغيير كمية الوقود الذى يحقن فى الإسطوانات) وأن تغير الحمل فى المصانع أو الخدمات العامة كثير الحدوث حيث تستعمل المحركات فى إدارة المولدات الكهربية وليس من المرغوب فيه تغيير ضغط التيار الكهربى كلما تغير الحمل، ولذلك يزود المحرك بمنظم دقيق يحافظ على معدل دوران ثابت له على الدوام.

جـ- المحركات الاحتياطية " متقطعة الإدارة "

لقد بينا الاستعمالات العادية لمحركات الديزل المستعملة لتوليد الطاقة الكهربيه حيث يدور المحرك دورة مستمرة لفترات طويلة ولكن ليست جميع الوحدات الكهربية ذات دورات مستمرة، إذ أن هناك وحدات احتياطية تدار عند

الضرورة فقط. وتستعمل مثل هذه الوحدات فى المستشفيات والمطارات و التليفونات وغيرها من الأماكن التى تستمد الطاقة الكهربائية من التيار الرئيسى بالمدينة. فإذا فرض وحدث عطل فى هذا التيار قامت هذه المحركات الاحتياطية بمدها بالقدرة حتى تستمر خدماتها قائمة. وعلى ذلك فلا تدور مثل هذه المحركات إلا فترات نادرة أو ساعات معدودة كل عام. وليس من الضرورى أن تكون المحركات الاحتياطيه قليلة الاستهلاك فى الوقود أو ذات عمر طويل كما هو الحال فى المحركات المستديمة الإداره ولكنها غالبا محركات خفيفة الوزن رخيصة الثمن.

د- محركات الإدارة الميكانيكية:

تستعمل بعض محركات الديزل الثابته لإدارة آلات ميكانيكية وبعض هذه المحركات مستديمة الإداره وبعضها الآخر متقطعا.
ففى الحالة الأولى يكون المحرك من النوع البطىء والمتين وذى الكفاءة العالية.
وفى الحالة الثانية يكون المحرك من النوع رخيص الثمن.

هـ- محركات ديزل لأغراض النقل:

كثير من السيارات والجرارات وسيارات النقل العامة (أتوبيسات) ذات محركات ديزل. واستعمال محركات ديزل فى هذه الحالات يؤدى إلى زيادة الوزن بالإضافه إلى ارتفاع الثمن. إلا أن طول فترة استعمال هذه الأنواع من السيارات ذات محركات الديزل يؤدى إلى وفر ثمن الوقود لتغطية فرق ارتفاع ثمنها الأول عن محركات البنزين. ويجب أن يكون محرك الديزل المستعمل أن يكون:

1- خفيف الوزن ويعنى هذا ارتفاع السرعة مع صغر الإسطوانات
2- وأن يدور بكفاءة عالية عند السرعات المختلفة.
3- قليل الدخان كريه الرائحة وغير ملوث للبيئة فى جميع الحالات.
4- أن يُصمم المحرك بحيث تبدأ حركته فى الحال حتى فى الأجواء الباردة.

و- محركات ديزل المتنقلة:

هذا النوع من محركات الديزل يركب على عربة حتى يمكن نقلها من مكـان إلى آخر بحيث أما أن يستخدم محرك الديزل فى تحريك هذه العربـة أو لا يستخدم. والغرض الأساسى هو استعمال هذه المحركات كمصدر للقدرة التى يصمم من أجلها لأداء شغل معين مثل: أدارة المضخات وتوليد الطاقة الكهربية. وهذا النوع من المحركات مشابها لما يستعمل فى أغراض النقل السابقة الا أنها أكبر، نظرا للقدرة الكبيرة المطلوبة منها فهى لذلك أضخم وأثقل فى الوزن وبطيئة فى السرعة.

المـــراجــــع



المراجع

أولاً المراجع العربية:

- احمد مدحت إسلام، 1988: الطاقة ومصادرها المختلفة ـ مركز الأهرام للترجمة والنشر ـ القاهرة.
- احمد محمود على – محمد عباس عبد الشافى – على رأفت 1997 " المحركات الحرارية – وزارة التربية و التعليم
- السعيد رمضان العشرى، 1995: القوى الزراعية ـ محركات الأحتراق الداخلى ـ جهاز الطبع والنشر للكتاب الجامعى ـ جامعة الإسكندرية 1995.
- بواقيم كوتراد: هندسة الجرارات. مؤسسة الأهرام بالقاهرة بالأشتراك مع المؤسسة الشعبية للتأليف بليبزج.
- جورج باسيلى حنا، 1976: الميكنة والجرارات الزراعية. مطبعة جامعة القاهرة والكتاب الجامعى.
- سعد فتح الله أحمد، 1985 ـ االقوى الزراعية ـ كلية الزراعة ـ الإسكندرية ـ جهاز الطبع والنشر للكتاب الجامعى ـ جامعة الإسكندرية.
- سمير محمد يونس، 1982 ـ الجرارات الزراعية ـ كلية الزراعة ـ الإسكندرية.
- عبد الحميد أبوسبع، على يسرى كريم، 1977 "الجرارات الزراعية" دار المعارف الإسكندرية.
- **عبد الحميد ابو سبع – محمد يوسف بلال : الجرارات الآلات الزراعية 1969 مكتبة وهبة – القاهرة.**
- **عبد الفتاح إبراهيم عبد الفتاح، 1971: محركات الأحتراق. دار المعارف.**
- محمد عبد المحسن شيبون " الجرارات الزراعية " **كلية الزراعة ـ جامعة الإسكندرية**
- **محمد نبيل العوضى، 1982: هندسة الجرارات والآلات الزراعية. كلية الزراعة ـ جامعة عين شمس.**
- منير عزيز مرقص، سامى محمد يونس، 1991 ـ أساسيات الميكنة الزراعية ـ المكتب الدولى ـ القاهرة.
- **ويليام هـ ز كراوس " ميكانيكا السيارات " ترجمة احمد عباس الشربينى – مجموعة الكتب المدرسية والمراجع الأمريكية المترجمة – وزارة التربية والتعليم**

ثانياً المراجع الأجنبية:

- Amann, C.A. "Why the Piston Engine Lives On. "Machine Design, Feb. 21. 1974.
- American Society for Testing /materials. ASTM Manual for Rating Motor, Diesel and Aviation Fuels, 1971.
- American Society for Testing /materials. ASTM Standards on Petroleum Products and Lubricants, 1977.
- Amstrong, L.V.,and J.B. Hartman. The Diesel Engine. The Macmillan Co., New York, 1959.
- Angrist, S.W. Direct Energy Conversion, 3rd ed. Allyn and Bacon, Boston, 1976.
- ASHRAE Handbook of Fundamentals, P-138. ASHRAE, Inc. 1972.
- ASHRAE Handbook of Fundamentals. Americal Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers, New York, 1977
- ASTM. 1972. Single - Cylinder engine tests for evaluating the performance of crankcase lubricants (abridged procedure). ASTM special publication 509. Philadelphia.
- ASTM. 1977. Test methods for rating motor, diesel and aviation fuels. Phila
- ASTM. 1981. Petroleum products and lubricants (I). Philadelphia, PA.
- Bailey, P.H. "The Comparative Performance of Some Traction Aids," J. Agric. Engrn. Res. (England), Vol. 1, No. 1, 1956.
- Barger, E.L. "Power Alcohol in Tractors and Farm Engines." Agr. Engr., February 1941.
- Barger, E.L. "Tractor Fuels." Kansas State College Engr. Expt. Sta. Bull. 37, 1939.
- Barger, E.L. et al,Tractors and Their Power Units John Wiley and Sons Inc. New York, 1967
- Barger, E.L., and J. Roberts. "Effect of Tire Wear on Tractor Performance." Agr. Engr., Vol. 20, May 1939, pp. 191-194.
- Barger, K.K. "Part Load Fuel Savings." Implement and Tractor, Aug. 7, 1969.
- Bartholomew, Earl. "Discussion on Air Requirementes," SAE Trans., Vol. 31, 1936, pp. 97-98.
- Barusch, M.R., and J.H. Macpherson. "Engine fuel Additives." Advances in Petroleum Chemistry and Refining, Vol. 10, 1965.
- Baumeister, T. 1987. Mark's Standard Handbook For Engineers. New York: McGraw-Hill.
- Baumeister, T., and L.S. Marks. Mechanical Engineer's Handbook, 7th ed. McGraw-Hill Book Co., New York, 1967.
- Baumeister, Theodore, and L.S. Marks. Standard Handbook for Mechanical Engineers,7th ed. McGraw-Hill Book Co., New York, 1967.

- Bell, Brian, J. Farm Tractors Cassel, London, 1964
- Beranek, L.L. et al. Noise and Vibration Control. McGraw-Hill Book Co., New York,1971.
- Berg, C.A." A Technical Basis for Energy Conservition." Mechanical Engineering, May 1974.
- Bette, A.J. "Friction Materials." Machine Design, Vol. 32, No. 20, 1960.
- Blackburn, J., G. Reethof, and J. S. Shearer. Fluid Power Control. The M.I.T. Press, Cambridge, Mass., 1960.
- Boelter, L.M. K. "Performance Characteristics of Automobile Fans," Automotive Inds., Vol. 61, Nov. 23, 1929, pp. 754-758.
- Boldt, K., and B.R. Hall. 1977. Significance of tests for petroleum proucts. Boldt, K., and B.R. Hall. 1977. Significance of tests for petroleum products. ASTM, Philadelphia, PA.
- Brady, R.N. 1981. Diesel fuel systems. Reston Publishing Company, Reston, VA.
- Brinkworth, B.J. Solar Energy for Man. John Wiley & Sons, New York, 1972.
- Brooks, D.B., and R. E. Streets. "Automotive Antifreezes." Natl. Bur Standards (U.S.) Circ. 474, Nov. 10, 1948.
- Buchi, A.J. "Exhaust Turbocharging of internal Combustion Engines." Jour. of the Franklin Institute, Philadelphia, July 1953.
- Carter, A. D. S., Mechanical Reliability, John Wiley & Sons, New York, 1972.
- Cashore, W.H. Farm Tractor Lubrication Grosvenor St. London Co. 1953
- Caterpillar Performance Handbook, 3 rd ed. Caterpiller Tractor Company, January 1973.
- Cheney, E.S. Energy Conuersion. Eprentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1963.
- Chevron Oil Company. Automotive Engine Oils, What They Are and How They Work." Chevron Research Bulletin, 1975.
- Chevron Research Company. "Motor Gasoline." Chevron Research Bulletin, 1974.
- Chmming, Win. M. "Fuel and Lubricant Additives-I." Lubrication, Vol. 63, No.1, 1977.
- Church, A.H. "Centrifugal Governors-Analysis of Properties with Design Procedure." Product Eng., Vol. 12, August, 1941, pp. 409-412.
- Civens, Larry. "The Diesel Engine: Today and Tomorrw." Automotive Engineering, June 1976.
- Computer in Internal Combustion Engine Design." Symposium of the Institute of Mechanical Engineers, (England), 1968.

- Corliss, W.R. "Direct Conversiol of Energy." U.S. Atomic Energy Commission, March. 1964.
- Cowell. P.
an Implement Transfer Function Analyser." J. Agric. Engng. Res., Vol. 14, No.2, 1969., pp. 117-125.
- Crocker, Malcolm J. Noise and Noise Control. John Price, Cleveland, 1975.
- Cummings, W.M. 1977. Fuel and lubricant additives. Lubrication 63 (1).
- D'Alleva, B.A., and W. G. Lovell. "Relation of Exhaust Gas Composition to Air-Fuel Ratio." SAE Trans., Vol. 31, 1936, pp. 90-96.
- Deere & Co. Fundamentals of Machine Operation-Tractors. John Deere Service Publication, 1974.
- Deere & Co. Fundamentals of Sevice-Tires and Tracks. John Deere Service Publications, 1970.
- Den Hartog, J.P. Mechanical Vibrations, 4th ed. McGraw-Hill Book Co., New York, 1956.
- Der Neue NSU-Wanken-Rotationskolbenmotor." Landtech. Forsch., Vol.10,1960,H.2.
- Dilworth, J. L., "Characteristics of Exhaust-Gas Analyzers," SAE Trans., Vol. 48, 1941, pp. 234-239.
- Egli,Paul H. "Direct Energy Conversion." Naval Reviews, May 1960.
- Ellis, E.G. 1970. Fundamentals of lubrication. Scientific Publications, Broseley, Shropshire, England.
- Ellis, J.R. Vehicle Dynamics. Business Books Ltd., London, 1969.
- Engineering Know-how in Engine design-Part 18.," SP-359, Society of Automotive Engineers, 1970.
- Ernst, W. Oil Hydraulic Power and Its Industrial Applications, 2nd ed. McGraw-Hill Book Co., New York, 1960.
- Esmay, Merle and Hall Carl. Agricultural Mechanization in Developing Countries Shin - Norinsha Co. Ltd. Japan
Culvin, H.E. Farm Engines and Tractors Mc Graw Hill Book Co, Inc. 1953
- Faires, V. M. Design of /machine Elments , 4th ed. The Macmillan Co., New York, 1965.
- Faries, V.M. et al. Problems on Thermodynamics. The Macmillan Co., New York, 1962.
- Faries, V.M. Thermodynamics. The Macmillan Co., New York, 1970.
- Fein, R.S. 1971. Boundary lubrication.Lubrication 57: 1 - 12.
- Fein, R.S. and K.L. Kreuz. "Lubrication and Wear." Lubrication, Vol. 51, No.6,1965.

- Fein, R.S., and F.J. Villforth, Jr. "Lubrication Fundamentals."

Lubrication, Vol. 59, Oct.- Dec. 1973.
- Fenton, F.C., and E.L. Barger. "The Cost of Using Farm Machinery," Kansas Engr. Expt. Sta. Bull. 45, 1945.
- Fifty Years of the Farmall." Implement Tractor, May 21, 1972.
- Flather, John J. Dynamometers and Measurement of Power. John Wiley & Sons, New York, 1902.
- Flynn, P.F. 1979. Turbocharging four - cucle diesel engines. In Turbochargers and turbocharged engines. SAE publication SP - 442. SAE, Warrendale, PA.
- Fundamentals of Service-Electrical Systems Fos-20." John Deere &Co., Moline, Illinois, 1972.
- Gagge, A.P., A. C. Burton, and H.C. Practical System of Units for the Description of the Heat Exchange of Man with His Environment." Science, Vol.94, 1941, pp. 428-430.
- Georgev,V. et. al., 1972: Tractors and Automobiles. ZEMIZDAT, SOFIA.
- Goering. C.E 1989. Engine and tractor Power. St. Joseph, MI:ASAE
- Grant, E. L., W. G. Ireson, and R. S. Leavenworth. Principles of Engineering Economy, 6th ed. John Wiley & Sons, New York, 1976.
- Gray, R.B. 1975. The agricultural tractor, 1855 - 1950. ASAE, St. Joeseph, MI.
- Gruse, W.A. Motor Fuels, Performance and Testing. Reinhold Publishing Co., New York, 1967.
H.T. Muller and K.L. Pfundstein, SAE Journal, March 1949.
- Hare, C.T.,K.J.Springer, and T.A. Huls."Exhaust Emissions form Farm, Construction, and industrstrial Engines and Their Impact." SAE Paper No. 750788, 1975.
- Harting, G. R., "Design and Application of Heavy-Duty Clutches," SP-239. The Ninth L.Buckendale Lecture, Society Automotive Engineers, 1963.
- Hawkins, G.A. Thermodynamics.Jhon Wiley & Sons, New York, 1946.
- Hill, F.J., and C.G. Schleyerback, "Diesel Fuel Properties and Engine Performance." SAE Paper 770316, Feb. 28-Mar. 4, 1977.
- Holler, H.G. "Tomorrow's Diesel. What Wait It Offer?" Published in SP-270, "Powerplants for Industrial and Commercial Vehicles- A Look at Tomorrow." SAE Paper No. 650479, 1965.
- Holt, R.C., R.R. Yoerger, and J.A. Weber. "Why Early Tractor Intake Valve Failures?" Paper No. 60-140 presented ASAE meeting Columbus, Ohio, June 1960.
- Holzhausen, G. "Turbocharging Today and Tomorrow." Paper

660172 presented at SAE Mid-Year Meeting, Detroit, June 1966.
- Hunt, Donnell, Farm Power and Machinery Management Lowa State Univ. Press, 1960 Ames, Lowa..
- Jacobs, C., Harrel, W, and Shinn, G., 1982: Agricultural Power and Machinery. Mc-Graw. Hill Book Company, U.S.A.
- John Deere Company. 1978. Fundamentals of service: Electrical systems. John Deere Service Publications, Moline, IL.
- John Deere Company. 1980. Fundamentals of service: Fuels, lubricants and coolants. John Deere Service Publications, Moline, IL.
- John Deere. "Fos 58-Fuels, Lubricants and Coolants." John Deere Service Publications, 1970.
- Jones, F.K., and W.H. Aldred. 1980. Farm power and tractors, 5th ed. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Jones, Fred, R., Farm Gas Engines and Tractors Mc. Graw - Hill Book Co. Inc. 1963 14. Meij J.L., Mechanization in Agriculture North - Holland Publishing Co. Amsterdam 1960
- Judge, A. W. The Testing of High-Speed Internal Combustion Engines, 4th ed \., revised. Chapman Hall and Co. London, 1955.
- Kable, D.F., and G.A. Anderkay. "Techniques for Quieting the Diesel." SAE Transactions, 1975, pp. 2176-2184.
- Kaye, J.,and J. A. Welsh, Direct Conuersion of Heat to Electricity. Jhon Wiley & Sons, New York 1960.
- Kepner, R.A., R. Bainer and E.L. Barger. 1978. Principles of Farm Machinery, 3rd Ed. Westport, CT: AVI publishing Co.
- Kirkland, T.G., and D. J. Looft. "Fuel Cells-Present Status and Dveiopment Problems." SAE Paper No. 660230, presented at the Earthmoving Intustry Conference, April 5-6, 1966.
- Kisu, M., "Special Requirements for Tractors in Japan." Proc Inst. Nech. Engr., Vol. 184, 1969-1970.
- Kreuz, K.L. "Diesel Engine Chemistry." Lubrication, Vol. 56, No. 6, 1970.
- Kulhavy, J. T. 1964. Tractor engine cooling. ASAE paper 64-637. ASAE, St. Joseph, MI.
- Larsen, L.F. 1981. The farm tractor, 1950-1975. ASAE, St. Joseph,MI.
- Lichty, L.C. 1976. Combustion engine processes. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Life Test for Automotive Storage Batteries." SAE J 240a, SAE Handbook, 1978.

- Liljedahl, J.B., P.K. Turnquist, D. W. Smith and M. Hoki. 1989. Tractors and their Power Units, 4th Ed. New York: Van

Nostrand Reinhold
- LilJedahl, J.B., W.M. Carleton, P.K. Turnquist, and D.W. Smith. 1979. Tractors and their power units, 3rd ed. John Wiley and Sons, New York.
- Little, J.H., and R.A. Daily. "Storage Battery Performance at Low Temperatures." SAE Journal, Vol. 51, May 1943, pp. 149ff.
- Lodwich, J.R. "Chemical Additives in Petroleum Fuels: Some Uses and Action Mechanisms." J. Institute of Petroleum, Vol. 50, No. 491, November 1964.
- Long, Melvin. "Storage Batteries." Implement Tractor, June 7, 1974.
- Long, Melvin. "Trends in Electrical Systems." Implement Tractor, Feb. 21, 1978.
- Maintenance of Automotive Cooling Systems." Society of Automotive Engineers, New York, 1942.
- Matthews, J. "The Ergonomics of Tractor Design and Operation." Proceedings of the XVI CIOSTA Congress, Wageningen, The Netherlands, 1972.
- McCloy, D., and Martin H. R. The Control of Fluid Power. John Wiley & Sons, New York 1973.
- McCormick, E. "Some Engineering Implications of High Speed Farming." Agr. Engr., Vol. 22, May 1941, pp. 165-167.
- McLain, James A. "Diesel Engine Lubrication." SAE Paper No. 740S16 (also SP-390), Society of Automotive Engineers, 1974.
- Measurement of Electromagnetic Radiation From a Motor Vehicle or Other Internal- Combustion-Powered Drive (Excluding Aircraft) (20-1000 Mhz)." SAE J551c, SAE Handbook, 1978.
- Menrad, Halger, W.Lee, and W. Bernhardt. "Deploment of a Pure Methanol Fuel Car." SAE Paper 770790, September 1977.
- Micheal, M.I., and G. S. Decker. "Lubrication of Today's Tractor Engines." Paper prepared for API Farm Equipment Fuels and Lubricants Forum, Chicago, Feb. 20, 1969.
- Millingon, B.W. "Centrifugal Governors with Flyweights of Distributed Mass." Engineering (London), Vol. 163, Part I, March 28, 1947, p. 232.
- Mitchell, J.E. "An Evaluation of Aftercooling in Turbocharged Diesel Engine Performance." SAE Tranceactions, Vol. 67, 1958.
- Mitchell, J.E. "Power Producing Characterstice of Diesel Engines." Published in SP-243, "Engineering Know-how in Engine-Part 11." Society of Automotive Engineers, New York, 1963.
- Moses, B.D. and Frost, K.R., 1962: Farm Power. John Wiley & Sons, Inc., New York, U.S.A.
- Moyer, J. A., J. P. Calderwood, and A. A. Potter. Elements of Engineering Thermodynamics, 6th ed. John Wiley & Sons,

New York, 1941.

- Nancarrow, J.H. "Influence of Turbocharger Characteristics on Supply of Air for High Speed Diesel Engines." SAE Tranactions, Vol. 75, 1966.
- Obert, E.F. 1973. Internal Combustion Engines and Air Pollution. New York: Haraper & Row
- Obert, E.F. Concepts of Thermodynamics. McGraw-Hill Book Co., New York,1960.
- Obert, E.F. Internal Combustion Engine and Air Pollution. International Educational Publishers,.New York, 1973.
- Oliver, C.R., R.M. Reuter, and J.C. Sendra. 1981. Fuel-efficient gasoline engine oils. Lubrication 67 (1): 1-12
- Othmer, Donald F. "Energy Prospects for the Rest of the Century," Mechanical Eengineering, August 1974.
- Patterson, D. J. and N. A. Henein. Emissions from Combustion Engines and Their Control. Science Publishers Inc., Ann Arbor, 1972.
- Peterson, F.S. "Petroleum Energy." Lubrication, Vol. 61, Oct.-Dec. 1975
- Pomatti, R. "Viscosity." Lubrication, Vol, 52, No.3, 1966.
- Potter, A.A. Farm Motors, 3 rd ed, McGraw-Hill Book Co., New York, 1925.
- Potter, A.A., and W.A. Buck, "An Investigationof the Internal Combustion Engine as Applied to Tractor Engines." ASME Transactions, Vol.33,1916,pp.995-1003.
- Power to Produce." The Yearbook of Agriculture, USDA, Washington. 1960.
- Promersberger, W. J., F.E. Bishop, and D.W. Priebe. 1971. Modern farm power. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Purdue Energy Conference of 1977." Proceedings published by Purdue University, April 29-30, 1977.
- Reuping, C.F. 1979. Antifreeze and coolant. Lubrication 65 (3):25-40.
- Roberts, R. "Fuel and Continuous Feed-cells," in G. Seise and U.C. Calhoun (eds), Primary Batteries. Jhon Wiley & Sons, New York, 1971.
- Rogowski, A.R. Elements of Internal Combustion Engines. McGraw-Hill Book Co., New York, 1953.
- Rosecrans, C.Z., and G.I. Felbeck. "A Thermodynamic Analysis of Gas Engine Tests." Univ. Illinois Eng. Expt. Sta. Bull. 150, 1925.
- SAE J7266 Air Cleaner Test Code.
- SAE. "Statistics for the Engineer. "SP-250, Society of Automotive Engineers, Pittsburgh, 1963.
- SAE. "The Relationship Between Engine Oil Viscosity and Engine

Performance." SP-416, SP-416, Society of Automotive Engineers, 1977.
- SAE. 1981. Synthetic automotive engine oils. SAE publication PT-22. Warrendale, PA.
- SAE. Agricultural Tractor Test Code-SAE J708c. Society of Automotive Engineers.
- Schulz, Bob. "New IH Diesels in 60 to 230 HP Range." Diesel and Gas Turbine Progress, September 1970.
- Schweitzer, P.H. "Must Diesel Engines Smoke?" SAE Transactions, Vol. 1, July 1947.
- Schwitzer, Louis. "Engine Cooling" SAE Transactions, Vol. 27, 1932, pp. 378-383.
- Segel, L. "Research in the Fundamentals of Automobile Control and Stability." SAE Trans., Vol. 70, 1957, pp. 527-540.
- Siemens, J.C., and J.A. Weber. 1958. Dry-type air cleaners on farm tractors. SAE preprint no.77A. October.ASE, Warrendale, PA.
- Sneeden, J.B.O. Applied Heat for Engineers, 3rd ed. Blackie and Sons, Glasgow, 1959.
- Snell, C. T. "Automobile Radiator Cleaners." Chem. Inds., Vol. 63, Novmber 1948, pp. 802-804.
- Solar Energy-Possibilities." Machine Design, June 26,1958.
- Somers, E.V., and J.C.R. Kelly. "Thermoelectric." Mechanical Engineering. July 1960. PP. 40-42.
- Sorokin, G.A Tractors Mir Publishers, Moscow 1967
- Sprick. W.L. and T.H. Becker. 1985. The application and installution. of deisel engines in agricultural equipment.
- Storage Batteriers." SAE J537h, SAE Hnadbook, 1978.
- Symposium on Diesel Engines-Breathing and Combustion. Institute of Mechanical Engineers, England, 1966.
- Taylor, C. F. The Interal-Combustion Engine in Theory and Practice, 2nd ed. John Wiley & Sons, New York, 1966.
- Thein, G.E., and H. A. Fachbach. "Design Concepts of Diesel Engines with Low Noise Emissions." SAE Trancactions, 1975, pp. 2160-2175.
- Theory of the Rotometer. Fischer and Porter Co., Catalog Section 98-Y, Hatboro, Pa.
- Thompson, A. H. "The Effect of Jacket Water Temperature on Crankcase Dilution and Fuel Economy of a Tractor Engine." Agr. Engr., Vol. 23, December 1942, pp. 383ff.
- Turbocharged and Intercooled Diesel for Farm Machinery. "Diesel and Gas Turbine Progress, September 1970.
- Vasey, G.H., and W.F. Baillie. "Some Experiences with Testing of

Spark Arresters for Tractor Engines." Jour. of Agr. Engr. Research, Vol. 6, No. 1, 1961.
- Vincent, E.T. Supercharging the internal Combustion Engine. McGraw-/hill Book Co., New York, 1948.
- Wark, Kenneth. Thermodynamics, 2nd ed McGraw-Hill Book Co., New York,1971.
- Weaver, E.R. "Propane, Butance, and Related Fuels." Natl. Bur. Standards (U.S.) Circ. C420, 1939.
- Wigg, Eric E.
  Fuel Economy, Emissions, And High Temperature Drivability." SAE Paper 741008, 1974.
- Woolenweber, W.E. "The Turbocharger- a Vital Part of the Engine Intake and Exhaust System. Published in SP-359, "Engineering Know-How in Engine Design-Part 18," Society of Automotive Engineers, 1973.
- Young F.M. "Developments in Engine Cooling System," Diesel Power, Vol. 26, February 1948, pp. 64ff.
- Zadar, F.V., and D.E. Nesbitt. "Current Developments in Diesel Engine Oil Technology." SAE Paper No. 780182, Society of Automotive Engineers, 1978.

ملحق رقم ١

الوحدات والأبعاد

ملحق رقم ١

الوحدات والأبعاد

هناك ثلاثة انظمة معروفة فى العالم للوحدات وهى:

النظام الإنجليزى The British System

النظام الفرنسى "المترى" The Metric System

النظام العالمى The International System of Units "ST"

ولكل من النظام الانجليزى والنظام المترى وحدات للتعبير عن الكميات الهندسية المختلفة، وتختلف قيمة هذه الوحدات من نظام إلى آخر. ولكن لتبسيط هذه الوحدات ولسهولة فهمها بين دول العالم المختلفة تم الاتفاق على استخدام نظام موحد لهذه الوحدات ويسمى بالنظام العالمى.

ولا يختلف النظام العالمى للوحدات عن النظام الفرنسى أو المترى إلا فى بعض الوحدات وفى هذا المرجع سوف نركز على النظام العالمى للوحدات، وتنقسم الكميات الهندسية فى النظام العالمى للوحدات إلى وحدات أساسية، ووحدات مشتقة وهى تتكون من أكثر من وحدة أساسية.

- **الوحدات الأساسية:**

يحتوى النظام العالمي للوحدات على سبع وحدات أساسية:

البعد	Quantity	الوحدة	Unit	الرمز	Smbol
الطول	Length	متر	Meter	متر	m
الكتلة	mass	كيلو جرام	Kilogram	كجم	kg
الزمن	Time	ثانية	Second	ثانية	S
درجة الحرارة	Temperature	درجة كلفن	Kelvien	ك	K
التيار الكهربى	Electric Current	أمبير	Ampere		A

الوحدات الهندسية المشتقة

١ – المساحة:(Area)

ويعبر عنها فى النظام العالمى للوحدات بـ متر مربع (m^2).

٢ – الحجم (Volume):

مكعب وحدة الطول، ويعبّر عنها فى النظام العالمى للوحدات بـ متر مكعب (m^3).

٣ – السرعة (Velocity):

وهى معدل تغير المسافة التى يقطعها جسم ما بالنسبة للزمن، أى معدل حركة الجسم ووحداتها متر/ثانية.

m/s or ms^{-1}

٤ – السرعة الزاوية (Angular Velocity)

ويعبر عنها بعدد لفات لكل دقيقة "لفة/دقيقة r.p.m" وفى النظام العالمى للوحدات يعبر عن السرعة الزاوية "Rad/s" Radian per second

$$\text{Angular velocity} = \frac{2\ N}{60}\ \text{rad/s}$$

Where: N Rev. per minute

٥ – العجلة (Acceleration)

هى معدل تغير السرعة بالنسبة للزمن. ووحداتها متر/ثانية٢.

m/s^2 or ms^{-2}

٦ – العجلة الزاوية (Angular Acceleration)

هى معدل تغير السرعة الزاوية بالنسبة للزمن ووحداتها rad/s^2

٧- القوة (Force)

تعرف القوة بأنها ذلك العامل الذى يؤثر على جسم ما ويغير من حالة اتزانه. وحالة الاتزان هى وجود الجسم فى حالة سكون أو فى حالة حركة منتظمة فى خط مستقيم. وتحدد القوة بثلاث عناصر هى المقدار والاتجاه ونقطة التأثير.

ونتيجة لتأثير القوة على الجسم فإنها تكسبه عجلة فى نفس اتجاه القوة وهذه العملية تتناسب طردياً مع مقدار القوة المؤثرة، أما ثابت التناسب فهو كتلة الجسم.

$$F = m.a$$

Where:

F - Force (N) قوة

m = Mass (kg) كتلة

a = Acceleration (m/s^2) عجلة

من العلاقة السابقة يمكن تحديد وحدات القوة.

$F = kg.\ m/s^2$

وفى النظام العالمى للوحدات تستخدم وحدة النيوتن للتعبير عن القوة ويرمز له بالرمز N. ويمكن تعريف النيوتن بأنه القوة التى تؤثر على جسم كتلة ١ كيلو جرام فتكسبه عجلة مقدارها ١ متر/ثانية٢.

٨- العزم (Torque)

يعرف العزم بانه دوران جسم ما حول أحد المحاور نتيجة تأثير قوة، ويبعد خط عملها عن محور الدوران بمسافة تعرف بذارع العزم (وهى المسافة العمودية بين محور الدوران وخط عمل القوة).

$$T = F.L$$

Where:

T = Torque (N.m) العزم (نيوتن. متر)

F = Force (N) القوة (نيوتن)

L = (m) المسافة (متر)

٩ – الشغل (Work)

إذا تحرك جسم تحت تاثير قوة معينة لمسافة ما فى اتجاه القوة فيقال أن تلك القوة بذلت شغلاً ويساوى حاصل ضرب القوة فى المسافة ووحداتها نيوتن متر (N.m) أو جول (J).

$$W = F.L$$

Where:

W = work	(N.M)	شغل (نيوتن. متر)
F = Force	(N)	القوة (نيوتن)
L =	(m)	المسافة (متر)

من هذه العلاقة نجد أن وحدات الشغل (نيوتن. متر) ولكن فى النظام العالمى للوحدات يطلق على هذه الوحدة جول (Joule) ويرمز له بالرمز J.

١٠ – الضغط (Pressure)

يعرف الضغط بأنه القوة الواقعة على وحدة المساحات.

$$P = \frac{Force}{Area} \quad \frac{N}{m}$$

حيث P= Pressure N/m^2

ويطلق على الوحدة (نيوتن/متر مربع) اسم بسكال (Pascal) ويرمز لها بالرمز Pa.

١١ – القدرة (Power)

تعرف القدرة بانها معدل بذل شغل بالنسبة للزمن.

$$Power = \frac{Work}{Time} \ (J/s)$$

ومن العلاقة السابقة نجد أن وحدة القدرة جول/ثانية وهى تساوى وات (Watt) فى النظام العالمى، ويرمز له بالرمز W.

بالإضافة إلى تلك الوحدات السابقة للكميات الهندسية المختلفة، يستخدم فى النظام العالمى للوحدات Prefixes تضاف أمام الوحدات لتجنب ملائمة الأعداد الكبيرة أو الصغيرة.

ويحتوى جدول (١-١) على SI unit prefixes

Table (1-1) SI Unit Prefixes

Prefix	**SI Symbol**	**Multiples & Submultiples**
Tera	T	10^{12}
Giga	G	10^{9}
Mega	M	10^{6}
Kilo	k	10^{3}
Hecto	h	10^{2}
Deka	da	10^{1}
Deci	d	10^{-1}
Centi	c	10^{-2}
Milli	m	10^{-3}
Micro		10^{-6}
Nano	n	10^{-9}
Pico	p	10^{-12}

ملحق رقم (٢)

قائمة مصطلحات



ملحق رقم(٢)

قائمة مصطلحات

يعطى هذا الملحق مرجعاً مصغراً عن مصلحات المحركات التى بالكتاب، غير أنه قد تختلف التعاريف بعض الشئ عن تلك التى توجد بقاموس عادى، كما أنه لم يقصد من هذه التعاريف أن تشمل كل مصطلحات الكتاب، بل غرضها استعادة ذاكرة القارئ وتذكيره بسرعة بمصطلحات المحركات التى قد يشك فيها. فى حين توجد بالكتاب تعاريف وايضاحات أتم وأكثر، ويعتبر هذا المعجم بمثابة عون لذاكرة المهندسين الفنيين عند قراءتهم للكتب والمراجع الأجنبية أو قراءتهم للمنشورات والكتالوجات.

(A)

- **معجل** Accelerator

  الدواسة المتصلة بصمام الاختناق فى المغذى.

- **مضخة** Accelerator Pump

  هذه المضخة جزء من المغذى وتتصل بالمغذى الذى يزود المخلوط لحظياً بكمية من الوقود عند الضغط على دواسة المغذى.

- **فلتر الهواء** Air Cleaner "Air Filter"

  فلتر لتنقية الهواء الداخل إلى المحرك من الأتربة والمواد العالقة.

- **نسبة خلط الهواء إلى الوقود** Air Fuel Ratio

- **بوق الهواء** Air Horn

  ممر اسطوانى فى المغذى يمر خلاله الهواء الداخل للمحرك.

- **ضغط الهواء** Air Pressure

  ضغط الهواء المنتج بمضخة، أو بالانضغاط فى اسطوانة المحرك... الخ.

- أمبير Ampere

وحدة قياس التيار الكهربائى. مقدار التيار الكهربائى المار فى دائرة كهربائية جهدها فولت واحد ومقاومتها أوم واحد.

- مانع الدق Antiknock

خاصية وقود المحرك التى تمنع الخبط الناهى. عن الأحمال المفاجئ.

- الضغط الجوى Atmospheric Pressure

ضغط الجو أو الهواء بسبب ثقله الضاغط إلى أسفل ويساوى فى المتوسط (١,٠٣٣كج/سم٢) عند مستوى سطح البحر.

(B)

- بطارية Battery

مجموعة تتكون من خليتين كيميائيتين أو أكثر، متصلتين ببعضهما البعض لتوليد التيار الكهربائى. وتحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية.

- اشتعال خلفى Backfiring

سبق الانفجار لخلية الهواء والوقود بحيث يفر الانفجار فى صمام الشحن الذى لا يزال مفتوحا ويومض مرتداً إلى مجمع السحب.

- محمل كرسى Bearing

عموما هو السطح المنحنى على عمود الإدارة أو فى التجويف، وهو الجزء المجمع على العمود أو داخل التجويف ويسمح بالدوران النسبى بأقل تأكل أو احتكاك.

- أغطية الكرسى Bearing Caps

تثبت أغطية كراسى المحرك فى مكانها بمسامير أو صواميل وهذه بدورها تثبت نصفى الكرسى فى مكانهما.

- النهاية الكبرى لذراع التوصيل Big End

نهاية ذراع التوصيل من جهة المرفق

- تسرب الغازات Blow-By

تسرب خليط الهواء والوقود المنضغط أو الغازات المحترقة من غرفة الاحتراق عبر شنابر الضغط إلى علبة المرفق.

- قطر الاسطوانة Bore of Cylinder

قطر ثقب اسطوانة المحرك، وكذلك قطر أى ثقب مثل الثقب الذى تدخل فيه الجلبة.

- النقطة الميتة السفلى (ن.م.س) Bottom Bead Center (B.D.C)

وضع المكبس عندما ستحرك إلى أسفل الاسطوانة وخط المنتصف لذراع التوصيل مواز لجدران الاسطوانة.

- فرملة Brake

أداة ابطاء أو وقف حركة أى شئ أو آلة.

- القدرة الفرملية Brake Horsepower

القدرة على عمود الكرنك أو القدرة على الحدافة.

- النظام البريطانى للوحدات British System

نظام لوحدات القياس يستخدم فى بريطانيا والولايات المتحدة الأمريكية، فيه تقاس الأطوال بالبوصة والأوزان بالباوند (رطل) والزمن بالثانية.

- بيوتين Butane

نوع من الغاز البترولى السائل تحت درجة صفر مئوية (عند الضغط الجوى).

(C)

- القيمة الحرارية Calorific value "Heating

فى الوقود، كمية الحرارة التى تنتج من احتراق وحدة وزن معينة من الوقود احتراقا تاماً.

- كامة Cam

جزء متحرك ذو شكل غير منتظم يصمم ليحرك أو يغير حركة جزء آخر.

- عمود الكامات Camshaft

عمود بالمحرك له مجموعة من الكامات لتشغيل آلية الصمام ويدار من عمود المرفق بواسطة تروس أو عجلات مسننة وجنزير.

- كربون Carbon

تتراكم هذه المادة على اجزاء المحرك نتيجة لاحتراق الوقود ويتكون الكربون على المكابس والشنابر والصمامات...الخ ويعرقل مهمتها.

- ثانى أكسيد الكربون Carbon Dioxide

ينتج هذا الغاز من احتراق الوقود.

- أول أكسيد الكربون Carbon Monoxide

غاز سام ينتج من تشغيل المحرك البنزيني.

- الكاربيراتير (المغذى) Carburetor

تخلط هذه الأداة الهواء والبنزين فى نظام التغذية بالوقود (حيث يتبخر البنزين عند خلطه) بنسب مختلفة لتناسب ظروف تشغيل المحرك.

- التدريج المنوى Calsius Scale

تدريج لقياس درجات الحرارة، فيه تعتبر نقطة تجمد الماء درجة الصفر، ونقطة غليانه ١٠٠م.

- **القوة الطاردة المركزية** Contrifugal Force

قوّة تعمل على دفع الجسم إلى الخارج بعيداً عن مركز الدوران ويكون اتجاهها عمودياً على الجسم.

- **سيتين** Cetane

هو نوع من الاشتعال أو سهولة الاشتعال فى وجود محركات الديزل وكلما ارتفع عدد السيتين انخفضت درجة حرارة اشتعال الوقود.

- **خانق** Choke

أداة خنق سريان الهواء عند مروره فى بوق الهواء بالمغذى فينشأ عنها تفريغ جزئى فى مدخل الهواء لاعطاء وقود اكثر وخليط أغنى.

- **خلــوص** Clearance

هو الحيز بين جزئين متحركين أو بين جزء متحرك وآخر ثابت كالمحور والكرسى. وعندما يدور المحرك يملأ ذلك الحيز بزيت التزييت.

- نظام التبريد **المغلق** Closed Cooling System

- **الاحتراق** Combustion

الحريق السريع لخليط الهواء والوقود فى اسطوانة المحرك.

- **غرفة الاحتراق** Combustion Chamber

الفراغ الذى بأعلى الاسطوانة وفى رأسها، وبداخله يحترق خليط الهواء والوقود.

-**هواء مضغوط** Compressed Air

- **جهاز بيان الانضغاط** Compression Gauga

اداة اختبار مقدار الضغط الناشئ فى اسطوانة المحرك عند ادارته باليد.

- **نسبة الانضغاط (الكبس)** Compression Ratio

نسبة حجم الاسطوانة والمكبس فى النقطة الميتة السفلى إلى حجمها والمكبس فى النقطة الميتة العليا.

- **حلقات الانضغاط (شنابر الضغط)** Compression Rings

الحلقة أو الحلقات العليا بالمكبس المصممة لحفظ الانضغاط بالاسطوانة ومنع تسرب الغازات عبر الحلقات.

- **شوط الانضغاط** Compression Stroke

شوط المكبس من النقطة الميتة السفلى إلى النقطة الميتة العليا وخلاله يكون كلا الصمامين مغلقين وينضغط خليط الهواء والوقود.

- **مكثف** Condenser

- **كرسى ذراع الاتصال** Connecting Rod Bearing

يطلق عليه أحياناً "كرسى الذراع"

- **غطاء كرسى ذراع الاتصال** Connecting Rod Cap

ذلك الجزء من مجموعة أذرع الاتصال الذى يثبت الذراع بمحور المرفق.

- **أذرع الاتصال** Connecting Rods

وصلات المحرك التى بين مرافق عمود إدارة المحرك والكباسات

- **مروحة التبريد** Cooling Fan

- **زعانف التبريد** Cooling Fine

- **قميص التبريد** Cooling Jacket

- **سطح التبريد** Cooling Surface

- دورة التبريد **Cooling System**

النظام الذى به يمكن التخلص من حرارة المحرك ويمنع زيادة سخونته. وتفعل دورة التبريد مضخة الماء والمشع ومنظم درجة الحرارة.

- المرفق (الكرنك) **Crank**

أداة تحويل الحركة الترددية إلى حركة دائرية أو العكس.

- علبة المرفق (الكرنك) **Crankcase**

الجزء السفلى من المحرك الذى يدور داخله عمود الكرنك ويتكون من جزئين العلوى منه هو الجزء الأسفل من كتلة الاسطوانات والسفلى عبارة عن علبة المرفق.

- متنفس علبة المرفق **Crankcase Ventilator**

الأداة التى تسمح بسريان الهواء خلال صندوق مرفق المحرك أثناء دوراته.

- محرك الإدارة الكهربى **Cranking Motor**

يطلق احيانا على "محرك البدء"

- محور المرفق **Crankpin**

سطح تحميل المرفق بعمود الكرنك وعليه يثبت ذراع الاتصال

- عمود المرفق (عمود الكرنك) **Crankshaft**

عضو أو عمود الدوران الرئيسى بالمحرك ذو المرفق والذى يثبت به أذرع الاتصال.

- إشعال مخالف **Cross Firinng**

حدوث شرارة من شمعة فى غير وقتها بسبب قفز الموجات ذات الجهد العالى فى دائرة الاشعال الثانوية إلى وصلة الجهد العالى الخاطئة. ويحدث ذلك عادة لخطأ فى العزل أو عيب فى غطاء الموزع أو اللفاف (الشاكوش).

- قاطع التيار Cut-Out

- دورة Cycle

سلسلة من أحداث ببداية ونهاية مجددتين، ففى المحرك تمثل أشواط المكبس الأربعة (أو شوطين للمكبس) تكمل بها عملية التشغيل وتنتج القدرة.

- إسطوانة Cylinder

هيكل أنبوبى الشكل. ويتحرك المكبس إلى أعلى وإلى أسفل داخل فتحة المحرك الإسطوانية.

- كتلة الأسطوانات Cylinder Block

الهيكل الرئيسى للمحرك الذى تصل به أو عليه أجزاء المحرك الأخرى ويشمل إسطوانات المحرك والجزء العلوى من صندوق المرفق.

- رأس الأسطوانة Cylinder Head

الجزء الذى يغطى تجاويف الأسطوانة ويحتوى على الممرات المائية.

- قمصان الإسطوانة Cylinder Sleeves

تدخل القمصان فى مجمع الاسطوانات لتكوين جدرانها.

(D)

- الصفع Detonation

الاحتراق السريع للغاية بشحنة منضغطة بالمحرك وينتج منها دق المحرك.

- دورة ديزل Diesel Cycle

دورة محرك ينضغط فيها الهواء فقط ويحقن الوقود فى نهاية شوط الانضغاط ويشتعل الوقود بالحرارة الناتجة من انضغاط الهواء.

- **محرك ديزل** Diesel Engine

يعمل هذا المحرك بدورة ديزل ويحرق سولار "ديزل" بدلاً من البنزين.

- **احتكاك جاف** Dry Friction

الاحتكاك بين جزئين جافين.

- **قميص جاف** Dry Liner

- مغذية ثنائية Dual Carburetors

مغذيات ببوقين للهواء ونافورتين للوقود وصمامي اختناق ودورتي تباطؤ.. الخ.

- **ديناموميتر** Dynamometer

أداة لقياس القدرة الناتجة فعلاً من المحرك.

- **كفاءة** Efficiency

نسبة التأثير الناتج إلى القدرة المبذولة.

- **الدورة الكهربائية** Electric System

ذلك النظام الذى يدير المحرك كهربائياً عند البدء ويعطى شرارة ذات جهد عال لأسطوانات المحرك لتحرق شحنات الهواء والوقود المنضغطة فى محرك البنزين ويضئ أجهزة الإضاءة ويشغل محرك السخان الكهربى. الخ ويتكون من أجزاء هى: محرك البدء الكهربى والأسلاك والبطارية والمولد والمنظم وموزع الأشعال وملف الاشعال.

- **الطاقة** Energy

معدل بذل شغل.

- **محرك** Engine

التجمعية التى تحرك الوقود لتنتج القدرة.

- **ايثيل** Ethyl

ثالث ايثيل الرصاص.

- **جهاز تحليل غازات العادم** Exhaust Gas Analyzer

أداة تحليل غازات العادم.

- **تربين غاز العادم** Exhaut Gas Turbine

- **مجمع العادم** Exhaust Manifold

الجزء من المحرك الذى يهيئ سلسلة من الممرات تنساب خلالها غازات الاحتراق من إسطوانات المحرك.

- **فتحات العادم** Exhaust Ports

- **شوط العادم** Exhaust Stroke

شوط المكبس من القطة الميتة السفلى إلى النقطة الميتة العليا ويفتح صمام العادم أثناء هذا الشوط ليسمح بطرد الغازات المحترقة من الإسطوانة.

- **صمام العادم** Exhaust Value

يفتح هذا الصمام أثناء شوط العادم ليسمح بطرد الغازات المحترقة من إسطوانة المحرك.

- **شوط التمدد** Expansion Stroke

- **استهلاك الوقود** Fuel Consumption

(F)

- **التدريج الفهرنهيتى** Fahrenheit Scale

تدريج لقياس درجات الحرارة، فيه تعتبر نقطة تجمد الماء ٣٢٠ ونقطة غليانه ٢١٢.

- **مروحة** Fan

جهاز يتكون أساسا من دافعة دوارة ذات رياش مصممة لدفع أو سحب الهواء أو الغازات بأحجام كبيرة وضغوط منخفضة.

- **ترتيب الاشتعال** Firing Order

النظام الذى يسلكه إشعال إسطوانات المحرك أو تأدية أشواط القدرة.

- **غرفة العوامة** Float Chamber

خزان المغذى الذى يزود البنزين إلى الهواء الداخل للمحرك.

- **الحدافة** Flywheel

جسم معدنى ملحق بعمود الكرنك ويدور معه ويساعد على تسوية قفزات القدرة فى شوط القدرة، ويكون جزءاً من القابض وجهاز إدارة المحرك.

- **دورة رباعية** Four Cycle

اختصار لدورة رباعية الأشواط.

- **دورة رباعية الأشواط** Four-Stroke Cycle

العمليات الأربع: السحب والانضغاط والقدرة والعادم، أو أشواط المكبس الأربعة التى تكون أحداث الدورة الكاملة فى الدورة الرباعية الأشواط.

- **احتكاك** Friction

مقاومة الحركة بين جسمين يمس كل منهما الآخر.

- **مرشح الوقود** Fuel Filter

مرشح لتنقية الوقود من الجسيمات الغريبة والشوائب قبل دخول الوقود إلى المحرك.

- **مضخة حقن الوقود** Fuel Injection Pump

- **نافورة الوقود** Fuel Nozzle

أنبوبة المغذى التى يمر خلالها البنزين من غرفة العوامة إلى الهواء الداخل للمحرك.

- **مضخة الوقود** Fuel Pump

أداة فى نظام التغذية بالوقود والتى تزود المغذى بالبنزين من خزان الوقود.

- **دورة التغذية بالوقود** Fuel System

النظام الذى يزود اسطوانات المحرك بالخليط المعد للاشعال من الوقود المتبخر والهواء.

- **خزان الوقود** Fuel Tank

خزان معدنى يستخدم فى تخزين الوقود.

(G)

- **الحشو** Gasket

صفائح من المعدن أو الفلين أو مادة أخرى مصممة لتعطى مناعة ضد التسرب من جزئين مجتمعين.

- **لصاق الحشية** Gasket Cement

تستعمل هذه المادة للصق الحشيات.

- **البنزين** Gasoline

أيدروكربون من منتجات البترول، مناسب كوقود للمحرك.

- **المولد** Generator

الجزء من الدورة الكهربائية الذى يحول الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية لإعطاء الإضاءة وشحن البطارية وتشغيل جهاز الاشعال.. الخ.

- **الاحتكاك الإنزلاقى** Greasy Friction

الاحتكاك بين جسمين مغلفين بغطاء رقيق من الزيت.

- **منظمات** Governers

(H)

- **صمام التحكم فى الحرارة** Heat- control Value

صمام بمجمع العادم يعمل بمنظم حرارى ليغير من الحرارة الواصلة لصمام السحب حسب درجة حرارة المحرك.

- **خزان الحرارة** Heat Dam

مجرى مشقوق فى المكبس ليقلل من حجم الممر الذى يمكن أن تنتقل فيه الحرارة وبذلك يبقى جذع المكبس بارداً.

- **مبدل حرارى** Heat Exchanger

جهاز لنقل الحرارة من مائع أو جسم ما إلى مائع.

- **الفقد الحرارى** Heat Loss
- **حرارة الاحتراق** Heat of Compression
- **حرارة الانضغاط** Heat of Compression

ارتفاع درجة الحرارة الناتج عن الانضغاط.

- **التخلص من الحرارة** Heat Regection
- **تيار ضغط عالى** High Voltage Current
- **قدرة الحصان** Horse Power

القدرة اللازمة لشد قوة مقدارها ٧٥كجم. لمسافة متر خلال زمن واحد ثانية.

- **منظمات هيدروليكية** Hydraulic Governers
- **هيدرومتر** Hydrometer

جهاز لقياس كثافات السوائل.

(I)

- **دورة التباطؤ** Idle Circuit

الممر فى المغذى الذى يزود الوقود عند سرعة التباطؤ.

- **سرعة التباطؤ** Idling Speed

سرعة دوران المحرك المحرك بدون حمل أثناء دورة التباطؤ.

- **ملف الاشعال** Ignition Coil

الجزء من نظام الاشعال الذى يعمل كمحول ليرفع جهد البطارية إلى عدة آلاف فولت. ويحدث قفز الشرارة عن الجهد العالى عند طرفى شمعة الشرر.

- **موزع الاشعال** Ignition Distributor

الجزء من نظام الاشعال الذى يفتح ويغلق دائرة ملف الاشعال بتوقيت صحيح ويوزع شمعات الشرر المناسبة قفزات الجهد العالى من ملف الاشعال.

- **شرارة الاشعال** Ignition Spark

- **نظام الاشعال** Ignition System

النظام بالمحرك الذى يعطى شرارات الجهد العالى لاسطوانات المحرك لاشعال شحنات الهواء والوقود المنضغطة ويتكون من البطارية وملف الاشعال وموزع الاشعال ومفتاح الاشعال والأسلاك وشمعات الشرر.

- **توقيت الاشتعال** Ignition Timing

- **القدرة البيانية** Indicated

قياس قدرة المحرك على أساس القدرة المتكونة فعلا فى أسطوانات المحرك (على سطح المكبس).

- **مجمع السحب** Intake Manifold

الجزء من المحرك الذى يهيئ سلسلة من الممرات ينساب خلالها الوقود والهواء من المغذى الى اسطوانات المحرك.

- **شوط السحب** Intake Stroke

شوط المكبس من ن. م. ع. إلى ن. م. س. وفى أثنائه يفتح صمام السحب وتدخل الاسطوانة شحنة خليط الوقود والهواء.

- **صمام السحب** Intake Valve

يفتح هذا الصمام أثناء شوط السحب ويسمح لشحنة الهواء فى محرك الديزل والبنزين فى محرك البنزين بالدخول إلى الأسطوانة.

(K)

- **الدق** Knock

صوت طرق أو دق بالمحرك ينشأ من الاحتراق السريع للغاية للشحنة المنضغطة.

(J)

- **نافورة** Jet

(L)

- **محرك برأس إسطوانة شكل L** L-head Engine

نوع من المحركات ذو صمامات فى مجمع الاسطوانات. وغرفة الاحتراق على شكل L.

- **غاز بترولى سائل** Liquid petroleum Gas (LPG)

أيدركربون يمكن استعماله كوقود للمحرك مشتق من البترول أو الغاز الطبيعى ويكون فى حالة غازية عند الضغط الجوى ويسأل إذا تعرض لضغط كاف.

- **نظام الثزييت** Lubrication System

النظام بالمحرك الذى يمد الأجزاء المتحركة بزيت التزييت.

- **حالة التحميل العالى** Lugging

حالة التحميل الثقيل الشديد للمحرك عند السرعة المنخفضة والفتحة الكاملة لصمام الاختناق.

- **الكراسى الرئيسية** Main Bearings

كراسى عمود مرفق المحرك.

- **جهاز قياس** Measuring Instrument

مصطلح يطلق على أى جهاز يستخدم لقياس عنصر من عناصر التحكم.

- **الكفاءة الميكانيكية** Mechanical Efficiency

النسبة بين القدرة الفرملية والقدرة البيانية فى المحرك.

- **منظمات ميكانيكية** Mechanical Governers
- **آلية** Mechanism

نظام بأجزاء مترابطة تكون جهازاً يقوم بعمل ما.

- **النظام المترى للوحدات** Metric System

نظام لوحدات القياس يستخدم فى أوربا فيه تقاس الأطوال بالمتر والأوزان بالكيلو جرام والزمن بالثانية.

- **كاتم الصوت** Muffler

أداة لمرور غاز العادم وتعمل على كاتم صوت خروج غازات العادم.

(O)

- **أوكتين** Octane

مقياس قيمة مقاومة وقود المحرك للدق.

- **شنابر الزيت (حلقات التحكم فى الزيت)** Oil-Control Rings

الحلقة أو الحلقات السفلى للمكبس التى تمنع كثرة تسرب الزيت إلى غرفة الاحتراق.

- **مرشح الزيت** Oil Fiter

مرشح لتنقية زيت التزييت بتخليصه من الجسيمات والمواد الغريبة التى قد تكون مختلطة به.

- **حوض الزيت** Oil Pan

الجزء من المحرك المصنوع من صفائح معدنية والمثبت به من أسفله ليحيط بصندوق المرفق ويعمل كخزان للزيت.

- **مضخة الزيت** Oil Pump

الأداة فى نظام التزييت التى توزع الزيت من الحوض إلى مختلف الأجزاء المتحركة بالمحرك.

- **مانع تسرب الزيت** Oil Seal

أداة توضع حول عمود دائر .. الخ لمنع تسرب الزيت.

- **فوهة** Orifice

فتحة صغيرة أو ثقب فى تجويف.

- **نظام التبريد المفتوح** Open Cooling System

- **دورة أوتو** Otto.Cycle

أخترعها دكتور نيقولاس أوتو، وسميت بأسمه ولها عمليات أربع: السحب والانضغاط والقدرة والعادم.

- **صمام علوى** Overhead Valve

صمام مركب فوق غرفة الاحتراق فى رأس الاسطوانة. وهو الصمام فى المحرك ذى الشكل - I.

(P)

- **البترول** petroleum

سائل بتيوميني، زيتى القوام، سريع الاشتعال، خليط من المواد الهيدروكربونية المشوبة بكميات محدود من عناصر ومركبات كيميائية من النيتروجين والكبريت والأكسجين.

- الدق Ping

صوت دق معدنى من اسطوانة المحرك ينشأ عن فرقعة الاشعال المفاجئ.

- مكبس Piston

الجزء الاسطوانى الذى يتحرك أعلى وأسفل إسطوانة المحرك.

- محور الرسغ (بنز المكبس) Piston Pin

قطعة اسطوانية أو أنبوبة من المعدن توصل المكبس بذراع التوصيل.

- كرسى الرسغ Piston- Pin bearing

الجلب أو الكراسى التى بالمكبس والنهاية العليا من ذراع التوصيل والتى يركب بها محور الرسغ.

- شنابر المكبس (حلقات المكبس) Piston-rings

حلقات تثبت فى تجاويف المكبس ويوجد منها نوعان: شنابر الانضغاط لحفظ الانضغاط فى غرفة الاحتراق وشنابر الزيت لكسح الزيت من جدران الاسطوانة ومنعه من التسرب إلى أعلى والاحتراق فى غرفة الاحتراق.

- جذع المكبس Piston Skirt

الجزء الأسفل من المكبس.

- صفع المكبس Piston Slap

صوت جرس أجوف مكتوم نتيجة صف جدران الاسطوانة بكباس سائب للغاية.

- بلانيميتر Planimeter

جهاز لقياس المساحات، بتمرير مؤشره على محيط القطعة المطلوب قياسها.

- مقياس لدائنى Plastigage

رقائق من اللدائن تستعمل لقياس خلوص الكرسى.

- تلوث Pollution

مصطلح يطلق على وجود جسيمات غازية وصلبة فى الجو مضرة بحياة الإنسان والحيوان ويطلق أيضاً على اختلاط المخلفات الكيميائية والجسيمات الغريبة بمياه الترع والأنهار مما يؤدى إلى تغير مواصفاتها وخصائصها.

- منفذ Port

فتحة يمر خلالها خليط الهواء والوقود أو غاز العادم.

- شوط القدرة Power Strock

شوط المكبس من ن.م.ع. إلى ن.م.س. يحترق أثناءها خليط الهواء والوقود فيدفع المكبس إلى أسفل وينتج قدرة المحرك.

- ضغط الغازات Pressure of Gases

- فرملة برونى Prony Brake

أداة لقياس القدرة الإنتاجية من المحرك.

- بروبين Propane

غاز بترولى سائل تحت درجة ٤٢°م (عند الضغط الجوى).

- ذراع دفع Push Rod

الساق بين رافع الصمام والذراع المتأرجح بمحرك برأس اسطوانة شكل I.

(R)

- المشع (الردياتير) Radiator

الأداة فى نظام التبريد التى تزيل الحرارة من الماء المار به وبذلك تأخذ الماء الساخن من المحرك وتعيده بارداً إليه.

– **حركة ترددية** Reciprocating Motion

حركة الجسم بين وضعين محدودين إما للإمام والخلف أو لأعلى وأسفل.. الخ.

– **منظم** Regulator

الأداة فى الدورة الكهربية التى تتحكم فى خروج المولد لتمنع الجهد الزائد.

– **مجارى الحلقات** Ring Grooves

فجوات مقطوعة فى المكبس تبيت بها شنابر المكبس.

(S)

– **الكسح** Scavenging

– **مضخة الكسح** Scavenging Pump

– **الرواسب** Sludge

تراكم الماء والقاذورات والزيت فى حوض الزيت والرواسب لزجة للغاية وتعمل على منع التزييت.

– **شمعة الاحتراق** Spark Plug

تجميعه تشمل قطبين وعازلا بقصد عمل فرجة للشرارة فى إسطوانة المحرك.

– **الثقل النوعى** Specific Gravity

النسبة بين وزن حجم معين من مادة ما ووزن الحجم نفسه من الماء النقى عند درجة حرارة قياسية ٤°م.

– **الحرارة النوعية** Specific Heat

النسبة بين كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من هذه المادة درجة مئوية واحدة، وبين كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من الماء درجة مئوية واحدة.

- **الوزن النوعى** Specific Weight

وزن وحدة الحجوم من هذه المـادة (باعتبـار أن كثافـة المـاء النقى جرام واحد لكل سنتيمتر مكعب.

- **الحقن الجاف** Solid Ingetion

- **مشحن** Supercharger

- **محركات الاشتعال بالشرارة** Spark Ignition Engine

- **ياى** Spring

أداة مرنة تخضع للإجهاد أو الضغط ولكن تعود إلـى حالتهـا الأولى أو وضعها الأصلى عندما يزول الإجهاد أو الضغط.

- **بدء إدارة المحرك** Starting The Engine

- **موتور بدء الحركة** Starter

موتور كهربائى بتيـار مستمر (يستمده مـن البطاريـة) يولـد عزم دوران كبير يكفى لبدء حركة المحرك.

- **محرك البدء الكهربى** Starting Moor

المحرك الكهربى فى الدورة الكهربائية الذى يدير المحـرك أو يدير عمود المرفق للبدء.

- **مصفاه** Strainer

تصفية تستعمل لفصل الجسيمات الصلبـة عن السـوائل عنـد مرورها خلالها.

- **البطارية (المركم)** Storage Battery

الجـزء مـن الـدورة الكهربائيـة الذى يعمـل كخـزان للطاقــة الكهربائية فى صورة كيميائية.

- **شوط** Stroke

المسافة التى يتحركها كباس المحـرك مـن ن.م.س. إلــى ن. م. ع.

(T)

– ثالث إثيل الرصاص Tetraethyllead

إضافات كيماوية لوقود المحرك تزيد مقدار الأوكتيني أو تنقص من القابلية للدق.

– الكفاءة الحرارية Thermal Efficiency

العلاقة بين القدرة الناتجة وطاقة الوقود المحترق.

– منظم حرارى Thermal efficiency

أداة تعمل بتغيير درجة الحرارة. وكثير منها يستعمل فى المحرك وفى دورة التبريد.

– منظم حرارى "ترمستات" Thermostat

جهاز حرارى يوضع فى مسار تدفق السوائل لتنظيم درجة حرارتها والمحافظة على ثباتها فى حدود معينة.

– صمام اختناق Throttle Valve

قرص دائرى فى أسفل بوق الهواء يمكن تغيير وضعه لزيادة أو نقص الهواء.

– توقيت Timing

يقصد بذلك توقيت الصمامات وتوقيت الاشعال فى المحرك.

– النقطة الميتة العليا (ن.م.ع) Top Dead Center (T.D.C)

وضع المكبس عند وصوله إلى أعلى الاسطوانة وخط منتصف ذراع التوصيل مواز لجدران الاسطوانة.

– إثارة Turbulence

حالة الاضطراب الشديدة كحركة الدوامة السريعة (Rapid swirl) العطاة لخليط الهواء والوقود الداخل إلى الإسطوانة.

– دورة ثنائية Two Cycle

اختصار لدورة ذات شوطين.

- دورة ثنائية الأشواط Two-stroke Cycle

سلسلة العمليات التى تجرى أثناء شوطى المكبس بمحرك الدورة ذات الشوطين وهى: السحب والانضغاط والقدرة والعادم.

(V)

- تفريغ Vacuum

غياب الهواء أو غيره.

- مقياس التفريغ Vacuum Gauge

الإدارة التى تقيس التفريغ فى مجمع السحب بالمحرك وتبين أعمال أجزاء المحرك.

- صمام Valve

أداة فتح وغلق لتسمح أو توقف سيان السائل أو الغاز أو البخار من مكان لآخر.

- خلوص الصمام Valve Clearance

الخلوص بين مسمار الضبط على رافع الصمام وساق الصمام (فى محرك رأس أسطواناته شكل L) أو بين ذراع الـ ـجح وساق الصمام (فى محرك رأس اسطواناته شكل I).

- دليل الصمام Valve Guide

الجزء الاسطوانى فى مجمع الاسطوانات أو رأس الاسطوانة لذى يتحرك داخله الصمام الأعلى والأسفل بعد تجميعه.

- رأس الصمام Valve Head

- دليل الصمام Valve Fead

- رافع الصمام Valve Lifter

هو جزء اسطوانى فى المحرك يرتكز على كامة من عمود الكامات التى ترفعه لفتح الصمام ويوجد رافع لكل صمام.

- **حلقة مقعد الصمام المبيتة** Valve-seat Inserts

حلقات من معدن ذات مقدرة كبيرة على تحمل درجات الحرارة العالية وتلبس في مقاعد الصمامات وبالأخص صمام العادم.

- **ساق الصمام** Valve Stem

جزء الصمام الطويل الرفيع الذى يتوافق مع دليل الصمام.

- **عائق بخارى** Vapor Lock

حالة في دورة التغذية بالوقود عندما يتبخر البنزين في مواسير الوقود مثلا بحيث تتوقف أو تتأثر تغذية الوقود إلى المغذى.

- **سرعة** Velocity

- **محرك على شكل حرف V** V-Engine

محرك بصفين من الاسطوانات موضوعة على زاوية بالنسبة لبعضها البعض في شكل V.

- **اختناق** Venturi

اختناق المغذى عند بوق الهواء الذى ينتج عنه تفريغ يؤدى إلى نقل البنزين إلى الهواء الداخل للمحرك.

- **اهتزاز** Vibration

حركة كاملة وسريعة للأمام والخلف، أو ذبذبة.

- **لزوجة** Viscosity

مقاومة السائل للانسياب.

- **لزج** Viscous

غليظ ومقاوم للانسياب.

- **احتكاك لزج** Viscous Friction

الاحتكاك بين طبقات السائل

- التطايرية Volatility

مقياس لسهولة تطاير السائل.

- فولت Volt

وحدة قياس جهة التيار الكهربائى. يعرف بأنه القوة الدافعة الكهربائية التى ينتج عنها مرور تيار كهربائى شدته أبير واحد فى مقاومة كهربائية مقدارها أوم واحد.

- فولت ميتر Voltmeter

جهاز قياس جهد التيار الكهربانى بالفولت.

- حجم الغازات Volume of Gases

- الكفاءة الحجمية Volumetric Efficiency

النسبة بين مقدار خليط الهواء والوقود الذى يدخل فعلاً إلى اسطوانة المحرك والمقدار الذى يمكن دخوله تحت الظروف المثالية.

- أنبوبة توزيع المياه Water- distributing Tube

أنبوبة فى دورة تبريد المحرك تحسن من مرور الماء حول صمامات العادم والسطوح الأخرى التى قد تزداد سخونتها.

- قميص التبريد Water Jacket

الفراغ بين الغلافين الداخلى والخارجى لمجمع الاسطوانات أو رأس الاسطوانة وينساب خلاله ماء التبريد.

- مضخة المياه Water Pump

أداة جهاز التبريد التى تحافظ على سريان الماء فى دورة التبريد.

- الشغل Work

تغير وضع الجسم ضد أى قوة مضادة ويقاس بالمتر – كيلو جرام أو نيوتن متر أو جول.



المحتويات



رقم الايداع بدار الكتب والوثائق المصرية

3598 /2002

I.S.B.N.977-6015-37-9

الناشر

بستان المعرفة

لطبع ونشر وتوزيع الكتب

كفر الدوار - الحدائق ☎045/224228